

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-118319

(43)Date of publication of application : 19.04.2002

(51)Int.Cl.

H01S 3/23  
G02F 1/37  
H01S 3/08  
H01S 3/109  
H01S 3/113

(21)Application number : 2001-244811

(71)Applicant : LITTON SYST INC

(22)Date of filing : 10.08.2001

(72)Inventor : PETERSON BRIAN LEE

(30)Priority

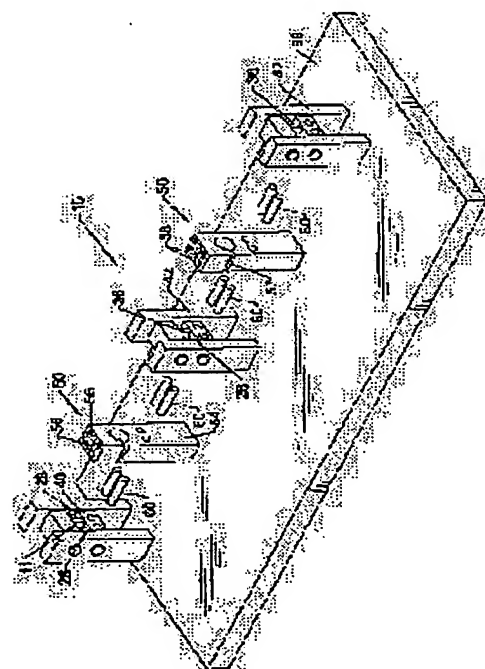
Priority number : 2000 637469 Priority date : 11.08.2000 Priority country : US

## (54) MICROLASER ASSEMBLY HAVING MICRORESONATOR AND ALIGNED ELECTRO-OPTIC COMPONENTS

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a microminiature laser assembly having a microminiature laser including reliability and accurate alignment and a concerned electro-optic component.

**SOLUTION:** The microlaser assembly can include mechanical aligning members. For example, the microlaser assembly can include a first mechanical aligning member for aligning the microresonator and a beam guiding element, and a second mechanical aligning member for aligning the beam guiding element and an electro-optic component. In this regard, the first and second mechanical aligning members can each include at least one pin for operably engaging the microresonator, beam guiding element and/or the electro-optical components. The laser signals emitted by the microresonator can therefore be efficiently coupled to the electro-optic components in order to provide a desired laser output.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of

rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-118319

(P2002-118319A)

(43) 公開日 平成14年4月19日 (2002. 4. 19)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード*(参考)
H 0 1 S 3/23		H 0 1 S 3/23	2 K 0 0 2
G 0 2 F 1/37		G 0 2 F 1/37	5 F 0 7 2
H 0 1 S 3/08		H 0 1 S 3/08	
3/109		3/109	
3/113		3/113	

審査請求 未請求 請求項の数28 O L 外国語出願 (全 43 頁)

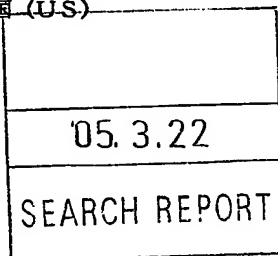
(21) 出願番号 特願2001-244811(P2001-244811)

(22) 出願日 平成13年8月10日 (2001. 8. 10)

(31) 優先権主張番号 09/637469

(32) 優先日 平成12年8月11日 (2000. 8. 11)

(33) 優先権主張国 米国 (U.S.)



(71) 出願人 599028973

リトン システムズ, インコーポレーテッド

アメリカ合衆国, 28273 ノース カロライナ, シャルロット, コンチネンタル ブールヴァード 1201

(72) 発明者 ブライアン リー ベターソン

アメリカ合衆国 28270 ノース カロライナ, シャルロット サウス ホール ドライヴ 10618

(74) 代理人 100064447

弁理士 岡部 正夫 (外11名)

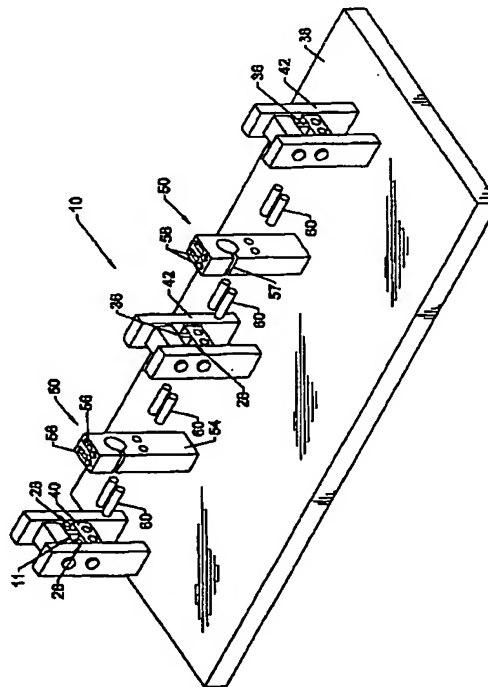
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロ共振器及び配列された電気光学要素よりなるマイクロレーザアセンブリ

## (57) 【要約】

【課題】 信頼性があり、正確に整列させることができる超小型レーザとその関連する電気光学構成要素とを有する超小型レーザアセンブリを提供すること。

【解決手段】 マイクロレーザアセンブリは、機械的な整列部材も備えることができる。たとえば、マイクロレーザアセンブリは、マイクロ共振器とビーム誘導素子とを整列させるための第1の機械的な整列部材と、ビーム誘導素子と電気光学構成要素とを整列させるための第2の機械的な整列部材とを備えることができる。この点に関して、第1および第2の機械的な整列部材はそれぞれ、マイクロ共振器、ビーム誘導素子および/または電気光学構成要素を動作可能に係合するための少なくとも1つのピンを備えることができる。それゆえ、マイクロ共振器によって放射される放射されるレーザ信号は、所望のレーザ出力を供給するために、電気光学構成要素に効率的に結合されることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 マイクロレーザアセンブリであって、能動利得媒体と受動Qスイッチとを備えるマイクロ共振器であって、前記マイクロ共振器は相対する第1の端面と第2の端面との間に長手方向に延在し、また前記マイクロ共振器は前記相対する第1の端面と第2の端面との間に延在する第1の側面を有する、該マイクロ共振器と、

前記マイクロ共振器の前記第2の端面を介して放射されるレーザ信号を生成するために、ジグザグ共振パターンが前記相対する第1の端面と第2の端面との間に確立されるように、前記マイクロ共振器の前記第1の側面を介して前記能動利得媒体に励起信号を導入するための励起源と、

前記マイクロ共振器によって放射される前記レーザ信号を変更するための電気光学構成要素と、

前記マイクロ共振器によって放射される前記レーザ信号を前記電気光学構成要素と整列させるために、前記マイクロ共振器と前記電気光学構成要素との間に配置されるビーム誘導素子とを備えるマイクロレーザアセンブリ。

【請求項2】 前記ビーム誘導素子は制御かつ調整可能である請求項1に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項3】 前記ビーム誘導素子は少なくとも1つのくさび形プリズムを備える請求項2に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項4】 前記ビーム誘導素子是一对の誘導用プリズムを備える請求項3に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項5】 前記マイクロ共振器と前記電気光学構成要素とを全体的に整列させるために、機械的な整列部材をさらに備える請求項1に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項6】 前記機械的な整列部材は、前記マイクロ共振器と前記ビーム誘導素子とを整列させるための第1の機械的な整列部材と、前記ビーム誘導素子と前記電気光学構成要素とを整列させるための第2の機械的な整列部材とを備える請求項5に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項7】 前記第1の機械的な整列部材と前記第2の機械的な整列部材はそれぞれ、少なくとも1つのピンを備える請求項6に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項8】 前記マイクロ共振器を支持するためのマイクロ共振器台と、前記電気光学構成要素を支持するための構成要素台と、

前記ビーム誘導素子を支持するためのハウジングとをさらに備え、

前記第1の機械的な整列部材の前記少なくとも1つのピンは、前記マイクロ共振器と前記ビーム誘導素子とを全体的に整列させるために、前記マイクロ共振器台と前記ハウジングとに係合し、前記第2の機械的な整列部材の

前記少なくとも1つのピンは、前記電気光学構成要素と前記ビーム誘導素子とを全体的に整列させるために、前記構成要素台と前記ハウジングとに係合する請求項7に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項9】 前記電気光学構成要素は、非線形水晶振動子 (nonlinear crystal) と、増幅器と、発振器と、別の能動利得媒体とからなるグループから選択される請求項1に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項10】 前記マイクロ共振器は、前記相対する端面の間に延在し、前記第1の側面の反対側にある第2の側面も有し、前記ジグザグ共振パターンは、前記第1の側面と前記第2の側面とのうちの一方の近くの各変曲点において交差する交互に反対の傾きをなす複数のセグメントを備え、前記励起源は、前記変曲点と一致する、それぞれ前記第1および前記第2の側面に沿った位置において前記能動利得媒体に励起信号を導入するための第1および第2の励起源を備える請求項1に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項11】 前記受動Qスイッチは前記能動利得媒体に直に隣接する請求項1に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項12】 前記受動Qスイッチは前記マイクロ共振器の前記第2の端面の近くに位置する請求項11に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項13】 マイクロレーザアセンブリであって、能動利得媒体と受動Qスイッチとを備えるマイクロ共振器であって、該マイクロ共振器は相対する第1の端面と前記第2の端面との間の長軸を画定し、前記相対する第1の端面と前記第2の端面はそれぞれ前記長軸に対して直角ではない角度で配置され、また前記マイクロ共振器は前記相対する端面間に延在する第1の側面も有する、該マイクロ共振器と、

前記マイクロ共振器の前記第2の端面を介して放射されるレーザ信号を生成するために、前記マイクロ共振器の前記第1の側面を介して前記能動利得媒体に励起信号を導入するための励起源と、

前記マイクロ共振器によって放射される前記レーザ信号を変更するための電気光学構成要素と、

前記マイクロ共振器によって放射される前記レーザ信号を前記電気光学構成要素と整列させるために、前記マイクロ共振器と前記電気光学構成要素との間に配置されるビーム誘導素子とを備えるマイクロレーザアセンブリ。

【請求項14】 前記ビーム誘導素子は制御かつ調整可能である請求項13に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項15】 前記ビーム誘導素子は少なくとも1つのくさび形プリズムを備える請求項14に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項16】 前記マイクロ共振器と前記電気光学構成要素とを全体的に整列させるための機械的な整列部材

をさらに備える請求項 1 3 に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項 1 7】 前記機械的な整列部材は、前記マイクロ共振器と前記ビーム誘導素子とを整列させるための第 1 の機械的な整列部材と、前記ビーム誘導素子と前記電気光学構成要素とを整列させるための第 2 の機械的な整列部材とを備える請求項 1 6 に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項 1 8】 前記マイクロ共振器を支持するためのマイクロ共振器台と、  
前記電気光学構成要素を支持するための構成要素台と、  
前記ビーム誘導素子を保持するためのハウジングとをさらに備え、

前記第 1 の機械的な整列部材は、前記マイクロ共振器と前記ビーム誘導素子とを全体的に整列させるために、前記マイクロ共振器台と前記ハウジングとに係合するための少なくとも 1 つのピンを備え、前記第 2 の機械的な整列部材は、前記電気光学構成要素と前記ビーム誘導素子とを全体的に整列させるために、前記構成要素台と前記ハウジングとに係合するための少なくとも 1 つのピンを備える請求項 1 7 に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項 1 9】 前記電気光学構成要素は、非線形水晶振動子と、増幅器と、発振器と、別の能動利得媒体とからなるグループから選択される請求項 1 3 に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項 2 0】 前記受動 Q スイッチは前記能動利得媒体に直に隣接する請求項 1 3 に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項 2 1】 前記受動 Q スイッチは前記マイクロ共振器の前記第 2 の端面の近くに位置する請求項 2 0 に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項 2 2】 マイクロレーザアセンブリであって、能動利得媒体と受動 Q スイッチとを備えるマイクロ共振器であって、前記マイクロ共振器は相対する第 1 の端面と第 2 の端面との間の長手方向に延在する、該マイクロ共振器と、  
前記マイクロ共振器の前記第 2 の端面を介して放射されるレーザ信号を生成するために、前記マイクロ共振器の前記能動利得媒体に励起信号を導入するための励起源と、

前記マイクロ共振器によって放射される前記レーザ信号を変更するための電気光学構成要素と、  
前記マイクロ共振器と前記電気光学構成要素とを全体的に整列させるための機械的な整列部材と、  
前記機械的な整列部材によって全体的に整列された後に、前記マイクロ共振器によって放射される前記レーザ信号と前記電気光学構成要素とを正確に整列させるために、前記マイクロ共振器と前記電気光学構成要素との間に配置される制御かつ調整可能なビーム誘導素子とを備えるマイクロレーザアセンブリ。

【請求項 2 3】 前記ビーム誘導素子は少なくとも 1 つのくさび形プリズムを備える請求項 2 2 に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項 2 4】 前記機械的な整列部材は、前記マイクロ共振器と前記ビーム誘導素子とを整列させるための第 1 の機械的な整列部材と、前記ビーム誘導素子と前記電気光学構成要素とを整列させるための第 2 の機械的な整列部材とを備える請求項 2 2 に記載のマイクロレーザアセンブリ。

10 【請求項 2 5】 前記マイクロ共振器を支持するためのマイクロ共振器台と、  
前記電気光学構成要素を支持するための構成要素台と、  
前記ビーム誘導素子を保持するためのハウジングとをさらに備え、

前記第 1 の機械的な整列部材は、前記マイクロ共振器と前記ビーム誘導素子とを全体的に整列させるために、前記マイクロ共振器台と前記ハウジングとに係合するための少なくとも 1 つのピンを備え、前記第 2 の機械的な整列部材は、前記電気光学構成要素と前記ビーム誘導素子とを全体的に整列させるために、前記構成要素台と前記ハウジングとに係合するための少なくとも 1 つのピンを備える請求項 2 4 に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項 2 6】 前記電気光学構成要素は、非線形水晶振動子と、増幅器と、発振器と、別の能動利得媒体とからなるグループから選択される請求項 2 2 に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【請求項 2 7】 前記受動 Q スイッチは前記能動利得媒体に直に隣接する請求項 2 2 に記載のマイクロレーザアセンブリ。

30 【請求項 2 8】 前記受動 Q スイッチは前記マイクロ共振器の前記第 2 の端面の近くに位置する請求項 2 7 に記載のマイクロレーザアセンブリ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は全般にマイクロレーザアセンブリに関し、より詳細には、マイクロ共振器と、1 つあるいは複数の電気光学構成要素と、マイクロ共振器によって放射されるレーザ信号を電気光学構成要素と制御可能に整列させるためのビーム誘導素子とを備えるマイクロレーザアセンブリに関する。

【0002】

【従来の技術】最近の電気光学の応用形態では、一連の鮮明な出力パルスを生成することができる、比較的安価で小型のレーザが要求されている。そのため、マイクロ共振器と、その間で共振空洞を画定するためにマイクロ共振器の両端に配置される一対の少なくとも部分的に反射性のミラーとを備える種々のマイクロレーザが開発されている。1 つの有用なマイクロレーザのマイクロ共振器は、能動利得媒体と、Q スイッチとして機能する可飽和吸収体とを備える。たとえば、1995 年 2 月 28 日

に発行されたJohn J. Zayhowskiに対する米国特許第5, 394, 413号、および2000年6月6日に発行されたBrian L. Petersonに対する米国特許第6, 072, 815号を参照されたい。いずれの特許の内容も、全体を参照して本明細書に援用される。レーザダイオードのような能動利得媒体を適当に励起することにより、マイクロ共振器は、所定の波長、パルス幅およびパルスエネルギーを有する一連のパルスを放射するであろう。

【0003】当業者に知られているように、マイクロレーザから放射される信号の波長は、能動利得媒体および可飽和吸収体を形成する材料に依存する。対照的に、従来のマイクロレーザから放射されるレーザパルスのパルス幅は、共振空洞の長さに比例する。そのため、一般に、より長い共振空洞は、以下の式によって定義されるように、より大きなパルス幅を有する出力パルスを放射するであろう。

【数1】

$$t_{pw} = \frac{2nl}{c}$$

ただし  $t_{pw}$  はパルス幅であり、 $l$  は共振空洞の長さであり、 $n$  はマイクロレーザの屈折率であり、 $c$  は光の速度である。さらに、マイクロレーザによって与えられるパルスエネルギーおよび平均電力は、マイクロレーザによって出力されるパルスのパルス幅に比例する。全ての他の要因が等しいとすると、マイクロ共振器空洞が長くなると利得が増加し、結果として、生成されるレーザパルスのパルス幅は長くなり、パルスエネルギーおよび平均電力は大きくなる。

【0004】米国特許第5, 394, 413号に記載されるような従来のマイクロレーザは、共振空洞によって画定される長軸に平行な方向において端面励起される。この点に関して、マイクロ共振器空洞の長軸は、共振空洞を通して長手方向に延在し、共振空洞の両端を画定する少なくとも部分的に反射性の一對のミラーに直交するように向けられる。そのため、従来のマイクロレーザは、励起源が、共振空洞の両端面を画定する少なくとも部分的に反射性のミラーに垂直な方向において励起信号を供給するように構成される。それゆえ、共振空洞の有効長は、共振空洞の物理的な長さに等しい。

【0005】マイクロレーザは、共振空洞が種々の長さを有するように製造することができるが、多数の要因が一因となって、共振空洞の許容可能な長さを全体的に制限する。詳細には、多数の電気光学的な応用形態が、非常に小さいマイクロレーザを要求する。そのため、共振空洞の長さの増加に応じて、マイクロレーザ全体のサイズを増加するので、そのような共振空洞の長さの増加は、これらの応用形態を著しく阻害する。さらに、パッシブにQスイッチされたマイクロレーザは、反転密度が

レーザ放射を開始する前に所定の閾値を超えなければならないという要件によって事実上制限される。共振空洞の物理的な長さが増加するとき、レーザ放射するために必要な反転密度を形成するために、より多量の励起エネルギーを必要とする。マイクロレーザを励起するために、より多くの電力を無駄に消費することに加えて、多量の励起エネルギーを要するという要件は、マイクロレーザを連続して動作させるために適切に処理されなければならないマイクロレーザの内の熱を多量に生成してしまうといった、多くの他の問題を生み出す。

【0006】そのため、Brain L. Peterson等により1999年6月21日出願された米国特許出願第09/337, 432号、およびSteve Guch, Jr. 等により1999年6月21日出願された米国特許出願第09/337, 716号に記載されるような側面励起式マイクロレーザが開発されている。そのいずれの特許出願も全体を参照して本明細書に援用される。端面励起式マイクロレーザと同様に、側面励起式マイクロレーザは、能動利得媒体、およびQスイッチとして機能する可飽和吸収体からなるマイクロ共振器と、共振空洞を画定するためにマイクロ共振器の両端に配置される少なくとも部分的に反射性の一對のミラーとを備える。しかしながら、マイクロ共振器の相対する端面がマイクロ共振器によって画定される長軸に垂直である端面励起式マイクロレーザとは異なり、側面励起式マイクロレーザのマイクロ共振器の相対する端面は、マイクロ共振器を通して長手方向に画定される長軸に垂直な線に対して、約30°～約35°のような直角でない角度に配置される。そのため、マイクロ共振器はジグザグの共振パターンを可能にするであろう。共振を開始するために、マイクロレーザは、マイクロ共振器の側面を介して、能動利得媒体に励起信号を導入するための励起源も備える。側面を介して能動利得媒体が励起されるのに応じて、一旦必要な反転密度に到達したなら、共振空洞内にジグザグの共振パターンが確立され、一連のパルスが放射される。ジグザグ共振パターンの結果として、側面励起式マイクロレーザのマイクロ共振器の有効長は、物理的な寸法を大きくすることを必要とせずに増加する。こうして、側面励起式マイクロレーザは、同じサイズの端面励起式マイクロレーザによって供給されるパルスよりも大きなパルス幅を有し、それに応じて、より大きなパルスエネルギーと平均電力レベルとを有するパルスを生成することができる。

【0007】側面励起式マイクロレーザによってもたらされる利点にもかかわらず、最近の電気光学的な応用形態の中には、マイクロ共振器によって放射されるパルスよりも大きなパルスエネルギーと大きな平均電力レベルを有するパルス、ならびにマイクロ共振器によって放射されるパルスとは異なる波長を有するパルスを要求するものもある。そのためマイクロレーザアセンブリは一般

に、マイクロ共振器と、そのパルスを受信し、かつ変更するための1つあるいは複数の電気光学構成要素とを備える。たとえば、電気光学構成要素は、パルスを増幅するための光パラメトリック増幅器を備えることができる。別法では、電気光学構成要素は、たとえば、パルス周波数を通倍、あるいは4通倍することにより、パルスの波長を変更するための1つあるいは複数の非線形水晶振動子を備えることができる。

【0008】マイクロレーザから放射されるパルスを適当に受信し、かつ変更するために、電気光学構成要素は、マイクロレーザに対して正確に整列させなければならぬ。マイクロレーザおよび関連する電気光学構成要素が小さくなると、この整列が一層必要になるが、一層難しくなる。さらに、マイクロレーザアセンブリのための要件が増加するので、マイクロレーザと、関連する電気光学構成要素との適当な整列は一層重要になる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】したがって、本発明の目的は、最近の電気光学的な応用形態によって要求される出力を供給するために、信頼性があり、正確に整列させることができるマイクロ共振器とその関連する電気光学構成要素とを有するマイクロレーザアセンブリを提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】それゆえ、能動利得媒体および受動Qスイッチを有するマイクロ共振器と、マイクロ共振器の共振とレーザの信号の生成とを引き起こすための励起源と、マイクロレーザによって放射されるレーザ信号を変更するための、1つあるいは複数の非線形水晶振動子、増幅器、発振器および他の能動利得媒体のような1つあるいは複数の電気光学構成要素と、マイクロ共振器によって放射されるレーザ信号を電気光学構成要素と整列させるためのビーム誘導素子とを備えるマイクロレーザアセンブリが提供される。1つの有利な実施形態では、励起源が、マイクロ共振器の第1の側面を介して能動利得媒体を励起する。側面励起に応じてジグザク共振パターンを可能にするために、マイクロ共振器の第1および第2の端面は典型的には、マイクロ共振器によって画定される長軸に対して直角でない角度で配置される。ジグザク共振パターンの結果として、マイクロ共振器は、同じサイズの従来のマイクロ共振器によって生成されるパルスより大きなパルス幅を有し、それに伴って大きなパルスエネルギーと平均電力レベルとを有するパルスを生成することができる。さらに、マイクロ共振器によって放射されるレーザ信号と、電気光学構成要素とを正確に整列させることにより、本発明のマイクロレーザアセンブリのビーム誘導素子は、マイクロレーザアセンブリを信頼性があり、効率的に動作させることを容易にし、特定の応用形態の要件に応じてレーザ信号を増幅し、かつ/またはレーザ信号の波長を変更するための

多数の下流の電気光学的段を利用できるようにする。

【0011】ビーム誘導素子は、マイクロ共振器によって放射されるレーザ信号を電気光学構成要素と正確に整列させるように制御かつ調整可能であることが好ましい。たとえば、ビーム誘導素子は、少なくとも1つのくさび形プリズムを備えることができ、一実施形態では、一対の誘導用リズレープリズムを備える。ビーム誘導素子は典型的には、マイクロ共振器によって放射されるレーザ信号を電気光学構成要素と比較的正確に整列させる。より全体的に整列させるために、マイクロレーザ共振器は、機械的な整列部材を備えることもできる。

【0012】この有利な実施形態では、マイクロレーザアセンブリは、マイクロ共振器とビーム誘導素子とを整列させるための第1の機械的な整列部材と、ビーム誘導素子と電気光学構成要素とを整列させるための第2の機械的な整列部材とを備えることができる。たとえば、第1および第2の機械的な整列部材はそれぞれ、マイクロ共振器、ビーム誘導素子および/または電気光学構成要素と動作可能に係合するための少なくとも1つのピンを備えることができる。この点に関して、マイクロレーザアセンブリはさらに、マイクロ共振器を支持するためのマイクロ共振器台と、電気光学構成要素を支持するための構成要素台とを備えることができる。さらに、本実施形態のマイクロレーザアセンブリは、ビーム誘導素子を保持するためのハウジングを備えることができる。したがって、マイクロ共振器とビーム誘導素子とを全体的に整列させるために、第1の機械的な整列部材の少なくとも1つのピンが、マイクロ共振器台とハウジングとに係合することができる。同様に、電気光学構成要素とビーム誘導素子とを全体的に整列させるために、第2の機械的な整列部材の少なくとも1つのピンが、構成要素台とハウジングとに係合することができる。したがって、機械的な整列部材が、マイクロ共振器と電気光学構成要素との全体的な整列を提供することができる一方、制御かつ調整可能なビーム誘導素子がより正確な整列あるいは精細な調整を提供する。

【0013】マイクロ共振器が側面励起される1つの有利な実施形態では、マイクロ共振器は、相対する端面間に延在し、第1の側面の反対側に位置する第2の側面も有する。したがって、そのジグザク共振パターンは、第1および第2の側面の一方の近くの各変曲点で交差する、交互に反対の傾きをなす多数のセグメントを備える。したがって、マイクロレーザアセンブリは、変曲点で一致する、それぞれ第1および第2の側面に沿った位置において、能動利得媒体に励起信号を導入するための第1および第2の励起源を備えることができる。こうして、その励起信号によって供給される利得を最大にすることができる。

【0014】それゆえ、本発明のマイクロレーザアセンブリは、側面励起式マイクロ共振器のようなマイクロ共



10

20

30

40

【数2】

$$L = \frac{NT}{\tan \alpha} + \frac{T}{\tan \alpha}$$

さらに、マイクロ共振器の第1および第2の側面それぞれの長さ、すなわち底辺長は  $NT/\tan\alpha$  に等しいも



のと定義される。

【0022】図3に示されるように、相対する端面16はそれぞれ、相対する端面が平行になるように、マイクロ共振器11によって画定される長軸18に対して、直角ではない同じ角度 $\gamma$ で配置することができる。別法では、相対する端面は、マイクロ共振器によって画定される長軸に対して、直角ではない同じ角度 $\gamma$ だけ反対方向に向けることができる。いずれの実施形態でも、結果的なマイクロ共振器は、図のようなジグザグ共振パターンを可能にする。

【0023】マイクロ共振器11内でジグザグ共振パターンを可能にすることにより、共振パターンの有効長は、長軸18に沿って測定されるようなマイクロ共振器の物理的な長さよりも著しく長くなる。この点に関して、共振パターンの有効長は、信号がマイクロ共振器の相対する側面20、22から交互に跳ね返る際の信号の経路によって画定される。信号がマイクロ共振器の相対する側面から4回反射、あるいは跳ね返るように設計される、すなわち $N=4$ のマイクロレーザアセンブリ10の場合、ジグザグ共振パターンの有効長は、長軸に沿って測定されるようなマイクロ共振器空洞の物理的な長さの約3～4倍になる。従来の端面励起式マイクロレーザの場合、共振空洞の共振パターンの長さおよび物理的な長さが同じであるため、本発明のマイクロレーザは、マイクロ共振器の物理的な寸法を増大させることを必要とすることなく、非常に長い共振パターンを有利に提供する。共振パターンが長くなる結果として、マイクロ共振器11から出力されるパルス幅あるいはパルス持続時間は、同じサイズの従来のマイクロレーザによって出力されるパルスのパルス幅に対して長くなる。たとえば、一実施形態のマイクロ共振器によって出力されるパルスは、ナノ秒以下のパルス幅を有する同じサイズの従来の端面励起式マイクロ共振器によって出力されるパルスと比べて、1～10ナノ秒、より典型的には2～5ナノ秒のパルス幅を有することが予想される。さらに、本実施形態のマイクロ共振器アセンブリによって出力されるパルスによって給送されるエネルギーは、同じサイズの従来の端面励起式マイクロ共振器によって出力されるパルスによって給送されるエネルギーより著しく高くなるはずである。この点に関して、同じサイズの従来の端面励起式マイクロ共振器によって出力されるパルスによって供給される約35 $\mu$ J未満のパルスエネルギーと比較すると、約100 $\mu$ Jまでのエネルギーを有するパルスが、本実施形態のマイクロ共振器によって放射されることが期待される。したがって、本実施形態のマイクロ共振器によって放射されるパルスは、典型的には0.1W未満の従来の端面励起式マイクロ共振器の平均電力より、著しく大きな、たとえば0.1W～1Wの平均電力を有することが予想される。

【0024】またマイクロレーザアセンブリ10は、相

対する端面16のそれぞれの一方の近くに配置され、その間でマイクロ共振器空洞を画定する第1および第2の反射表面24、26も備える。図3に示されるように、第1および第2の反射表面は、相対する端面上に堆積される多層の誘電体コーティングから形成することができる。別法では、第1および第2の反射表面は、相対する端面のそれぞれ一方の近くに配置されるが、それぞれの一方からわずかに離隔して配置される第1および第2のダイクロイックミラーによって形成することができる。

10 【0025】いずれの実施形態でも、能動利得媒体12によって画定されるマイクロ共振器11の端面16の近くにある第1の反射表面24は、所定のレーザ放射波長、たとえばNdドープYAGから形成される能動利得媒体を有するマイクロ共振器の場合の1,064nmを有する信号に対して、高い反射率、たとえば99.5%より高い反射率を有する。さらに、受動Qスイッチ14によって画定されるマイクロ共振器の端面の近くに配置される第2の反射表面26は、所定のレーザ放射波長を有する信号に対して、部分的な反射器、典型的には40%～90%の反射率を有する反射器である。マイクロレーザの共振空洞を画定する一対のミラーをさらに記載する米国特許第5,394,413号も参照されたい。

【0026】一旦能動利得媒体12が、マイクロ共振器11内の反転密度が所定の閾値より大きくなるように励起されれば、受動Qスイッチによって一連のパルスが放射されるようになるであろう。第2の反射表面26が部分的に反射性である結果として、その後、一連のパルスは、第2の反射表面を通過して放射されるであろう。

30 【0027】励起信号で能動利得媒体12を励起するために、マイクロレーザアセンブリ10は励起源28も備える。1つの有利な実施形態では、マイクロ共振器は側面励起される。この点に関して、マイクロ共振器は、相対する端面16間に延在する第1の側面20を有する。励起信号がマイクロ共振器の第1の側面を介して給送されるように励起源を配置することにより、その能動利得媒体は有効に側面励起される。マイクロレーザは1つの側面を介して励起することができるが、代わりに、マイクロレーザは、図3に示されるように、相対する第1および第2の側面20、22のような2つ以上の側面を介して励起することが有利である。

40 【0028】励起信号の波長は、能動利得媒体12を含む特定の材料に対して調整することができるが、NdドープYAGからなる能動利得媒体は典型的には、808 $\pm$ 3nmの波長を有する励起信号で励起される。励起信号が、第1の側面20から反射されることなく、能動利得媒体によって受信されるようにするために、マイクロ共振器は一般に、第1および/または第2の側面上に堆積される反射防止コーティング30を含み、励起信号の波長を有する信号を、もしあってもわずかな反射で、マイクロ共振器11に入力できるようにする。

50

【0029】マイクロレーザアセンブリ10は種々の励起源28を備えることができるが、1つの有利な実施形態のマイクロレーザアセンブリは、以下に記載されるように、能動利得媒体12の長さに沿って配置されることが好ましい1つあるいは複数の線形レーザダイオード励起源アレイ(linear laser diode pump arrays)29を用いる。線形レーザダイオード励起源アレイは典型的には、明瞭にするために示されていないが、当業者にはよく知られている一対の導線によって供給される電流を用いて駆動される。レーザダイオード励起源アレイを用いることにより、励起信号を介して給送されるエネルギーは、従来のマイクロレーザを端面励起するために典型的に用いられる一列のレーザダイオードの励起信号によって供給されるエネルギーと比べて著しく増加する。たとえば、約1cmの長さを有する線形レーザダイオードアレイは一般に、一列のレーザダイオードの励起信号によって供給される平均的な励起電力の1~3Wに比べて、15~40Wの平均励起電力を有する励起信号を供給することができる。

【0030】側面励起、およびマイクロ共振器11の相対する端面16に角度を付けて構成する結果として、マイクロ共振器によって確立される共振パターンは、従来の端面励起式マイクロレーザの場合に通常生じるように、長軸18に平行ではない。代わりに、1つの有利な実施形態のマイクロ共振器によって確立される共振パターンは、図3に示されるようなジグザグの共振パターンである。ジグザグの共振パターンを可能にするために、能動利得媒体12は、第1および第2の側面20、22を介して励起されることが好ましい。そのいずれの側面とも、図3に示されるような本実施形態によれば、反射防止コーティング30でコーティングされる。しかしながら、別の実施形態では、能動利得媒体は、第1の側面を介してのみ励起される。この別の実施形態において、励起信号の望ましくない損失を防ぐために、励起信号が受信される第1の側面と反対側にある、マイクロ共振器11の第2の側面は、励起信号の波長を有する信号に対して、99.5%より大きい反射率のような高い反射率を有する反射性コーティングでコーティングされることが好ましい。第1および第2の側面上に堆積される反射性および/または反射防止コーティングは種々の態様で形成することができるが、反射性および/または反射防止コーティングは典型的には、それぞれ、当業者に知られているような適当な反射特性を与えるように調整された屈折率を有する複数の誘電体層を堆積することにより形成される。

【0031】マイクロ共振器11は典型的には概ね長方形の断面と、角度のある端面16とを有する長い棒状体であるため、マイクロ共振器11は典型的には、相対する端面間、および相対する第1の側面20と第2の側面22との間に延在する第3および第4の側面32も備え

る。たとえば図3では、第3の側面が図示されるが、第4の側面は図面を見る人から離れて面しており、それゆえ視認されない。第3および第4の側面を介して、もしあるなら、多量の光がマイクロ共振器に対して入出力するのを防ぐために、第3および第4の側面は典型的には微細なグランド面であるか、そうでなければ光を散乱するように粗い面にされる。

【0032】能動利得媒体12は全長に沿って励起されることができるが、励起源28は、その長さに沿っていくつかの位置でのみ能動利得媒体を励起するように設計されることが好ましい。この点に関して、ジグザグ共振パターンは、第1および第2の側面20、22に近いそれぞれの変曲点34において交差する交互に反対の傾きをなす複数のセグメントを含む。たとえば、図3に示されるように、一実施形態のジグザグ共振パターンは、第1の側面に近い2つの変曲点と、第2の側面に近い2つの変曲点とを有する。しかしながら、マイクロ共振器11によって可能にされるジグザグ共振パターンは、所望により、異なる数の変曲点を有することができる。能動利得媒体を効率的に励起するために、励起源は、ジグザグ共振パターンの各変曲点と一致する位置において、第1の側面および/または第2の側面の近くに位置するレーザダイオード励起源アレイを有するように設計されることが好ましい。この点に関して、励起源は、第1の複数の線形レーザダイオード励起源アレイを備えることができ、その各アレイは各変曲点に近い第1の側面に隣接して配置される。さらに、マイクロ共振器が第1および第2の両方の側面から側面励起される実施形態では、励起源は、第2の複数の線形レーザダイオード励起源アレイも備え、その1つが第2の側面に近い各変曲点に隣接することが好ましい。たとえば、図2および図3に示されるように、各励起源は、各変曲点に配置され、高伝導率の無酸素銅のブロック31、あるいは、酸化ベリリウム(BeO)あるいは窒化アルミニウム(AlN)のような熱伝導性の絶縁性材料のブロックによって分離される2つあるいは複数の線形レーザダイオード励起源アレイを備えることができる。図2に示されるように、各線形レーザダイオード励起源アレイは、第3の側面と第4の側面32との間にマイクロ共振器と並んで横方向に延在することが好ましい。

【0033】マイクロ共振器11に加えて、本発明のマイクロレーザアセンブリ10は、マイクロ共振器と整列した状態で、マイクロ共振器の下流に配置される1つあるいは複数の電気光学構成要素36を備える。図1に示されるように、マイクロ共振器および他の電気光学構成要素は、共通のヒートシンク38に載置することができる。別法では、マイクロ共振器および他の電気光学構成要素は、所望に応じて、異なるヒートシンク上、あるいは分割されたヒートシンク上に載置され、マイクロ共振器と他の電気光学構成要素とを異なる、あるいは独立し

た温度に保持することができる。一実施形態によれば、ヒートシンクは、高伝導率の無酸素銅ヒートシンクである。しかしながら、ヒートシンクとして、熱電冷却機等を含む種々の能動あるいは受動ヒートシンクのうちの任意のものをを用いることができる。

【0034】マイクロ共振器11および下流の電気光学構成要素36を、下側のヒートシンク38に適切に取り付けるために、マイクロレーザアセンブリ10は、マイクロ共振器を支持するためのマイクロ共振器台40と、各電気光学構成要素を支持するための1つあるいは複数の構成要素台42とを備えることが好ましい。これらの取付台に関しては、その台が、他の構成要素に対して所定の正確な位置にマイクロ共振器あるいは他の電気光学構成要素を保持しつつ、マイクロ共振器および電気光学構成要素から下側のヒートシンクに熱エネルギーを伝導させる限り、マイクロレーザアセンブリは種々の異なる取付台を備えることができる。

【0035】図2に示される一実施形態によれば、マイクロ共振器台40は、マイクロ共振器11の相対する側面に取り付けられるブリッジ部44を備える。この点に関して、そのブリッジ部は、マイクロ共振器の動作中に励起信号を受信しない、第3および第4の側面32のようなその側面に取り付けられる。ブリッジ部は種々の態様でマイクロ共振器の相対する側面に取り付けることができるが、一実施形態のブリッジ部は、たとえばインジウム半田を用いて、マイクロ共振器の第3および第4の側面に半田付けされる。例示される実施形態によれば、マイクロ共振器台は、下側のヒートシンク38から上方に延在する一対の起立部46も備える。図2にも示されるように、マイクロ共振器台は、マイクロ共振器が起立部間に配置されるように、起立部とブリッジ部とを接続するための一対のコネクタ48を備えることができる。別法では、マイクロ共振器台の起立部およびブリッジ部は、コネクタを排除するために、半田、エポキシ等を用いて接続することができる。

【0036】マイクロ共振器11を励起するために、励起源28は、マイクロ共振器の第1および第2の相対する側面20、22と整列して起立部46上に取り付けられることが好ましい。この点に関して、各起立部に取り付けられる励起源は、反射性の側面の近くにあるジグザグの共振経路の変曲点34に一致する位置において、マイクロ共振器の長さに沿って間隔をおいて配置される複数の線形レーザダイオードアレイを備えることができる。励起源は、種々の態様で起立部に取り付けることができる。たとえば、一実施形態では、励起源は、インジウム半田および熱伝導性エポキシを用いて、各起立部に取り付けられる。

【0037】マイクロ共振器台40は、種々の熱伝導性材料から形成することができる。たとえば、一実施形態のマイクロ共振器台は、ヒートシンク38へ熱エネルギー

一を伝達し、排熱を容易にするために、高伝導率の無酸素銅から形成される。この点に関して、起立部は、酸化アルミニウムあるいは銀を充填したエポキシのような、熱的に調和したエポキシ等を用いて、下側のヒートシンクに取り付けられることが好ましい。マイクロ共振器台の一実施形態が図示および記載されたが、マイクロ共振器台は、特定の応用形態に応じて、多数の他の設計を有することができる。たとえば、マイクロ共振器台の起立部には、1つのU字形の構造を用いることができる。さらに、マイクロ共振器および励起源は、所望により、米国特許第6,072,815号に記載されるような共通のスラブ状の台に取り付けられることができる。

【0038】図1に示されるように、マイクロレーザアセンブリ10は、マイクロ共振器によって放射されるレーザ信号を受信し、かつ/または変更するためのマイクロ共振器11の下流に配置される1つあるいは複数の電気光学構成要素36を有する。マイクロレーザアセンブリは、レーザ信号が変更されることになる応用形態および態様に応じて、種々のタイプの電気光学構成要素を備えることができる。たとえば、マイクロレーザアセンブリは、典型的にはKTiOPO<sub>4</sub>、すなわちKTPから形成される周波数逓倍用水晶振動子を備えることができる。例として、ネオジムドープされたYAGから形成される能動利得媒体12と、4価のクロムドープされたYAGから形成される可飽和吸収体14とを有するマイクロ共振器が、1,064nmの波長を有するレーザパルスを放射する実施形態では、KTP水晶振動子が、結果的なレーザパルスが532nmの波長を有するように、レーザパルスの周波数を逓倍するであろう。

【0039】さらに、マイクロレーザアセンブリ10は、4次出力を生成するために、周波数逓倍用水晶振動子の下流に配置される、典型的にはホウ酸バリウム(BBO)から形成される、4次高調波発生器を備えることができる。したがって、ネオジムドープされたYAGから形成される能動利得媒体12と、4価のクロムドープされたYAGから形成される可飽和吸収体14とを有するマイクロ共振器11が、1,064nmの波長を有するレーザパルスを放射するマイクロレーザアセンブリは、266nmの波長を有するレーザパルスを生成するために、周波数逓倍用水晶振動子と、4次高調波発生器との両方を備える場合がある。さらに、マイクロレーザアセンブリは、その設計に応じて、2次高調波あるいは3次高調波発生器として機能することができる三ホウ酸リチウム(LBO)のような他のタイプの非線形水晶振動子あるいは高調波水晶振動子を備えることができる。他の非線形水晶振動子には、限定はしないが、リン酸カリウム(KDP)、ニオブ酸リチウム(LiNbO<sub>3</sub>)、三ホウ酸セシウム(CBO)および三ホウ酸セシウムリチウム(CLBO)がある。

【0040】マイクロ共振器11によって供給されるパ

ルスの周波数を変更するための非線形水晶振動子のほかに、あるいはその代わりに、マイクロレーザアセンブリ 10 は、マイクロ共振器によって放射されるパルスに  
 10 応答して、幾分異なる波長を有する信号を放射するための光パラメトリック増幅器、および／または光パラメトリック発振器を備えることができる。たとえば、光パラメトリック増幅器あるいは光パラメトリック発振器は、  
 1. 064  $\mu\text{m}$  の波長を有するマイクロ共振器によって放射されるパルスに  
 20 応答して、1.5 ~ 4.5  $\mu\text{m}$  の波長を有する信号を放射することができる。さらに、マイクロレーザアセンブリは、マイクロ共振器によって放射されるパルスが他の能動利得媒体を励起するための役割を果たすように、マイクロ共振器の下流に別の能動利得媒体を備えることができる。たとえば、マイクロ共振器によって放射される 1.064  $\mu\text{m}$  の波長を有するパルスは、三価クロムをドープされた YAG から形成される別の能動利得媒体を励起することができ、その際その YAG は 1.3 ~ 1.6  $\mu\text{m}$  の波長を有するパルスを放射するであろう。パルスの周波数および平均電力レベルを、マイクロ共振器の下流に適当な電気光学構成要素 36 を導入することにより変更することができるため、本発明のマイクロレーザアセンブリによって放射されるレーザ信号は、多くの特定の応用形態のために調整することができ  
 30 ることは明らかであろう。たとえば、図 1 に示されるように、マイクロ共振器の直ぐ下流にある電気光学構成要素には、光パラメトリック増幅器を用いることができ、他の電気光学構成要素には、レーザ信号の周波数を変更するための非線形水晶振動子を用いることができる。

【0041】マイクロ共振器台 40 と同様に、マイクロレーザアセンブリ 10 は、各電気光学構成要素 36 を保持するための 1 つあるいは複数の構成要素台 42 も備えることが好ましい。マイクロ共振器台とともに記載されるように、各構成要素台は、マイクロ共振器 11 および他の電気光学構成要素に対して正確な所定の位置に各電気光学構成要素を保持するように設計される。さらに、構成要素台は、排熱するために各電気光学構成要素からヒートシンク 38 に熱エネルギーを伝達するのを容易にするために、高伝導性の無酸素銅のような材料から製造されることが好ましい。構成要素台の実際の形状は各電気光学構成要素の性質に依存することになるが、一実施形態の構成要素台は、図 1 に示されるようなマイクロ共振器台 40 と同じか、類似であることは明らかであ  
 40 る。また当業者には明らかなように、各構成要素台は、電気光学構成要素から構成要素台を介して下側のヒートシンクまで熱エネルギーをさらに容易に伝達するために、酸化アルミニウムあるいは銀を充填したエポキシのような熱的に調和したエポキシ等を用いて、下側のヒートシンクに取り付けられることが好ましい。

【0042】本発明によれば、マイクロ共振器 11 およ

び電気光学構成要素 36 は、最小限の損失あるいは減衰で、その間のパルスのようなレーザ信号の伝送を容易にするために、正確に整列されることが好ましい。したがって、本発明のマイクロレーザアセンブリ 10 は、マイクロ共振器と、マイクロ共振器の直ぐ下流に配置される電気光学構成要素との間に配置されるビーム誘導素子 50 も備える。以下に記載されるように、ビーム誘導素子は、マイクロ共振器によって放射されるレーザ信号をその直ぐ下流にある電気光学構成要素と整列させる。マイクロ共振器の下流にある一連の 2 つ以上の電気光学構成要素を備える実施形態では、マイクロレーザアセンブリは、一連の一对の各電気光学構成要素間に配置される付加的なビーム誘導素子を備えることができる。

【0043】各ビーム誘導素子 50 は、マイクロレーザアセンブリ 10 の初期構成中に、ならびにもしあれば、後のマイクロレーザアセンブリの再整列中に、レーザ信号の整列を制御するために、制御かつ調整可能であることが好ましい。この点に関して、ビーム誘導素子は典型的には、1° の調整窓のような所定の範囲内にレーザ信号の方向の調整を制御することができる。したがって、ビーム誘導素子は、レーザ信号の整列の比較的精細な、あるいは正確な制御を提供する。

【0044】1 つの有利な実施形態では、ビーム誘導素子 50 は、少なくとも一对の、あるいは典型的には複数対の相補的なくさび形プリズムを備える。くさび形プリズムは種々の材料から形成される場合があるが、そのプリズムは一般に石英あるいは BK-7 ガラスから形成される。たとえば、ビーム誘導素子は、一般にインバー、アルミニウム等から形成される各リング状の取付台 53 に取り付けられる一对の誘導用リズレープリズム 52 を備えることができる。図 4 に示されるように、その一对の誘導用リズレープリズムは典型的には、レーザ信号を制御可能に誘導するために、各リズレープリズムが、その光軸 55 を中心に独立して回転できるようにするハウジング 54 内に配置される。たとえば、一実施形態によれば、そのハウジングは、一对のスロット 56 を画定し、そのうちの一方は各リズレープリズムに関連し、ビーム誘導素子によって与えられる整列状態を調整するために、各リズレープリズムに到達し、リズレープリズムがその光軸を中心に回転できるようにする。マイクロレーザアセンブリ 10 の出力が最大になったことを検出すること等により、一旦レーザ信号が適当に整列したなら、リズレープリズムの位置を固定することができる。この点に関して、誘導用リズレープリズムがハウジングの側面に配置されるハウジングの内部から延在する別のスロット 57 によって、ハウジングを部分的に分離することができる。図 1 に示されるように、本実施形態のビーム誘導素子は、少なくとも部分的にスロット 57 を閉じ、リズレープリズムの位置を固定するために、スロット 57 間に延在し、一旦リズレープリズムが所望の位

置にくる場合には前進することができる止めねじ58等を備えることができる。しかしながら、ビーム誘導素子は、一旦レーザ信号が適当に整列されるなら、リズレーブリズムの位置を固定するための他の手段を備えることができることは明らかであろう。マイクロレーザアセンブリがさらに再整列されなければならない場合には、レーザ信号の整列状態を変更するために、光軸に対してリズレーブリズムが再度回転できるようにするために、本実施形態の止めねじを緩めることができる。図4に示されるように、ビーム誘導素子のハウジングは、レーザ信号がハウジングに対して入出力できるようにするために、リズレーブリズムのそれぞれ1つの近くに一对の窓59を備えることもできる。ハウジングは種々のタイプの窓を備えることができるが、一実施形態の窓は、サブファイアから形成され、もしあるなら、レーザ信号のわずかな部分であっても反射されるのを防ぐ反射防止コーティングでコーティングされる。

【0045】上記のように、ビーム誘導素子50は一般に、レーザ信号の整列状態を比較的正確に、あるいは精細に制御できるようにする。しかしながら、マイクロレーザアセンブリ10は、マイクロ共振器11と電気光学構成要素36との全体的な整列を与えるための1つあるいは複数の機械的な整列部材60を備えることもできる。この点に関して、機械的な整列部材は、各構成要素の対を一連の電気光学構成要素に整列させるための個別の機械的な整列部材を備えることができる。例として、マイクロレーザアセンブリは、マイクロ共振器とビーム誘導素子とを整列させるための第1の機械的な整列部材と、ビーム誘導素子とその直ぐ下流にある電気光学構成要素とを整列させるための第2の機械的な整列部材とを備えることができる。同様に、マイクロレーザアセンブリは、他の電気光学構成要素を、別のビーム誘導素子あるいは別の電気光学構成要素のいずれかと一連の構成要素として整列させるための他の機械的な整列部材を備えることもできる。

【0046】マイクロレーザアセンブリ10は種々のタイプの機械的な整列部材60を備えることができるが、一実施形態の機械的な整列部材はピンを含む。この実施形態では、構成要素の各対が、1つあるいは複数のピンと機械的に整列することができる。たとえば、例示される実施形態では、構成要素の各対は、一对のピンによって整列される。この点に関して、第1の機械的な整列部材は、マイクロ共振器11とビーム誘導素子50とを整列させるための一对のピンを備える。同様に、第2の機械的な整列部材は、ビーム誘導素子と電気光学構成要素36とを整列させるための一对のピンを備える。そのピンは種々の態様で種々の構成要素を整列させることができるが、マイクロレーザアセンブリの例示される実施形態の取付台40、42およびハウジング54は、ピンのそれぞれ1つの端部を収容するための複数の開口部62

を画定する。取付台およびハウジングによって画定される開口部は概ね整列した状態に配置されるため、一旦ピンが対応する開口部に挿入されたなら、取付台およびハウジングによって支持されるマイクロ共振器、ビーム誘導素子および電気光学構成要素は概ね整列状態になるであろう。たとえば、図2に示されるように、マイクロ共振器台のブリッジ部44は、一对のピンの端部を収容するための一对の開口部を画定することができる。図4に示されるように、ビーム誘導素子のハウジングは、ピンの対の相対する端部を収容するための相補的な一对の開口部を画定することもできる。

【0047】それゆえ、本発明によれば、マイクロレーザアセンブリ10は、マイクロ共振器11、ビーム誘導素子50および電気光学構成要素36が、機械的な整列部材60、すなわちピンによって各構成要素に係合することに起因して互いに全体的な整列状態になるように、ヒートシンク28に取り付けられる。その際、マイクロ共振器によって放射されるレーザ信号は、ビーム誘導素子を制御可能に整列させる、たとえば、誘導用リズレーブリズム52の一方あるいは両方を光軸を中心に回転させることにより、下流の電気光学構成要素と、より正確に整列させることができる。マイクロレーザアセンブリによって供給される結果的な出力を最大にすることにより判定されるように、一旦レーザ信号が正確に整列したなら、誘導用リズレーブリズムの位置を固定することができ、それにより、マイクロレーザアセンブリが整列ずれに起因する信号の損失あるいは減衰を最小にするように効率的に動作できるようになる。

【0048】本発明が関連する当業者には、上記の説明および関連する図面において提供される教示の利点を有する、本発明の多くの変更形態および他の実施形態が思い浮かぶであろう。それゆえ、本発明は開示される特定の実施形態に限定されるべきではなく、その変更形態および他の実施形態が添付の請求の範囲に含まれることを意図していることを理解されたい。本明細書では特有の用語が用いられるが、一般的な説明上の意味においてのみ用いられており、本発明を制限しようとするものではない。

【0049】

【発明の効果】上記のように、本発明によれば、最近の電気光学的な応用形態によって要求される出力を供給するために、信頼性があり、正確に整列させることができるマイクロ共振器とその関連する電気光学構成要素とを有するマイクロレーザアセンブリを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

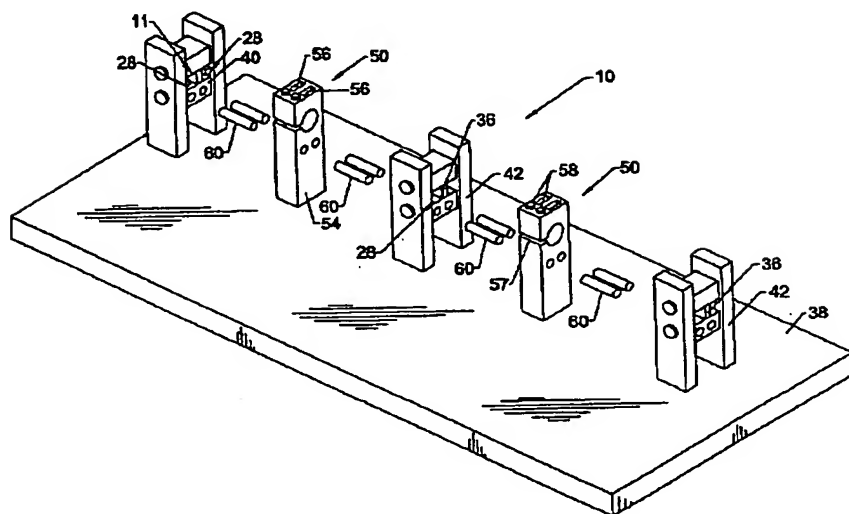
【図1】本発明の1つの有利な実施形態によるマイクロレーザアセンブリの斜視図である。

【図2】図1のマイクロレーザアセンブリのマイクロ共振器台およびマイクロ共振器の分解組立斜視図である。

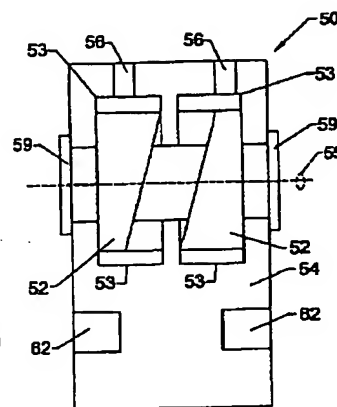
【図3】 その内部にジグザグ共振パターンを生成するための一対の励起源を備えるマイクロ共振器の概略的な側面図である。

【図4】 図1のマイクロレーザアセンブリのビーム誘導素子の側面断面図である。

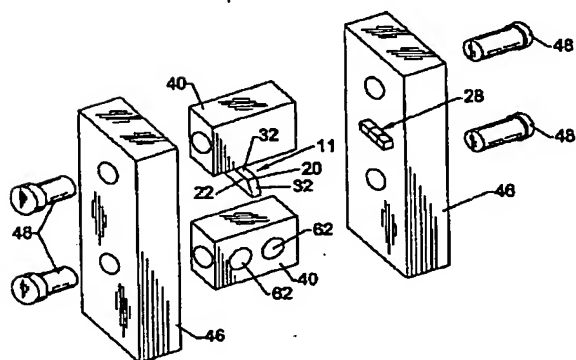
【図1】



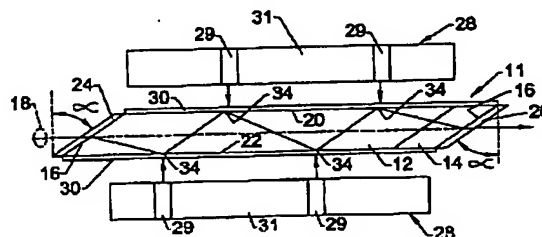
【図4】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2K002 AB12 BA03 CA02 CA03 CA04  
HA20  
5F072 AB02 KK12 KK24 KK30 MM11  
RR05 SS06

【外国語明細書】

1. Title of Invention

**MICROLASER ASSEMBLY HAVING A MICRORESONATOR  
AND ALIGNED ELECTRO-OPTIC COMPONENTS**

2. Claims

1. A microlaser assembly comprising:  
a microresonator comprising an active gain medium and a passive Q-switch, said microresonator extending lengthwise between opposed first and second end faces, said microresonator also having a first side surface extending between the opposed end faces;  
a pump source for introducing pump signals into the active gain medium via the first side surface of said microresonator such that a zig-zag resonance pattern is established therewithin in order to generate laser signals that are emitted via the second end face of said microresonator;  
an electro-optic component for modifying the laser signals emitted by said microresonator; and  
a beam steering element disposed between said microresonator and said electro-optic component for aligning the laser signals emitted by said microresonator with said electro-optic component.
2. A microlaser assembly according to Claim 1 wherein said beam steering element is controllably adjustable.
3. A microlaser assembly according to Claim 2 wherein said beam steering element comprises at least one wedge prism.
4. A microlaser assembly according to Claim 3 wherein said beam steering element comprises a pair of steering Risley prisms.
5. A microlaser assembly according to Claim 1 further comprising a mechanical alignment member for generally aligning said microresonator and said electro-optic component.



6. A microlaser assembly according to Claim 5 wherein said mechanical alignment member comprises a first mechanical alignment member for aligning said microresonator and said beam steering element and a second mechanical alignment member for aligning said beam steering element and said electro-optic component.

7. A microlaser assembly according to Claim 6 wherein said first and second mechanical alignment members each comprise at least one pin.

8. A microlaser assembly according to Claim 7 further comprising:  
a microresonator mount for supporting said microresonator;  
a component mount for supporting said electro-optic component;  
a housing for holding said beam steering element; and  
wherein said at least one pin of said first mechanical alignment member engages said microresonator mount and said housing for generally aligning said microresonator and said beam steering element, and wherein said at least one pin of said second mechanical alignment member engages said component mount and said housing for generally aligning said electro-optic component and said beam steering element.

9. A microlaser assembly according to Claim 1 wherein said electro-optic component is selected from the group consisting of a nonlinear crystal, an amplifier, an oscillator and another active gain medium.

10. A microlaser assembly according to Claim 1 wherein said microresonator also has a second side surface extending between the opposed end faces and opposite the first side surface, wherein the zig-zag resonance pattern comprises a plurality of segments of alternately opposite slope that intersect at respective inflection points proximate one of said one of the first and second side surfaces, and wherein said pump source comprises first and second pump sources

for introducing pump signals into the active gain medium at locations along the first and second side surfaces, respectively, that coincide with the inflection points.

11. A microlaser assembly according to Claim 1 wherein passive Q-switch is immediately adjacent said active gain medium.

12. A microlaser assembly according to Claim 11 wherein said passive Q-switch is proximate the second end face of said microresonator.

13. A microlaser assembly comprising:  
a microresonator comprising an active gain medium and a passive Q-switch, said microresonator defining a longitudinal axis between opposed first and second end faces that are each disposed at a nonorthogonal angle relative to the longitudinal axis, said microresonator also having a first side surface extending between the opposed end faces;  
a pump source for introducing pump signals into the active gain medium via the first side surface of said microresonator in order to generate laser signals that are emitted via the second end face of said microresonator;  
an electro-optic component for modifying the laser signals emitted by said microresonator; and  
a beam steering element disposed between said microresonator and said electro-optic component for aligning the laser signals emitted by said microresonator with said electro-optic component.

14. A microlaser assembly according to Claim 13 wherein said beam steering element is controllably adjustable.

15. A microlaser assembly according to Claim 14 wherein said beam steering element comprises at least one wedge prism.

16. A microlaser assembly according to Claim 13 further comprising a mechanical alignment member for generally aligning said microresonator and said electro-optic component.

17. A microlaser assembly according to Claim 16 wherein said mechanical alignment member comprises a first mechanical alignment member for aligning said microresonator and said beam steering element and a second mechanical alignment member for aligning said beam steering element and said electro-optic component.

18. A microlaser assembly according to Claim 17 further comprising:  
a microresonator mount for supporting said microresonator;  
a component mount for supporting said electro-optic component;  
a housing for holding said beam steering element, and  
wherein said first mechanical alignment member comprises at least one pin for engaging said microresonator mount and said housing in order to generally align said microresonator and said beam steering element, and wherein said second mechanical alignment member comprises at least one pin for engaging said component mount and said housing in order to generally align said electro-optic component and said beam steering element.

19. A microlaser assembly according to Claim 13 wherein said electro-optic component is selected from the group consisting of a nonlinear crystal, an amplifier, an oscillator and another active gain medium.

20. A microlaser assembly according to Claim 13 wherein passive Q-switch is immediately adjacent said active gain medium.

21. A microlaser assembly according to Claim 20 wherein said passive Q-switch is proximate the second end face of said microresonator.

22. A microlaser assembly comprising:  
a microresonator comprising an active gain medium and a passive Q-switch, said microresonator extending lengthwise between opposed first and second end faces;  
a pump source for introducing pump signals into the active gain medium of said microresonator in order to generate laser signals that are emitted via the second end face of said microresonator,  
an electro-optic component for modifying the laser signals emitted by said microresonator,  
a mechanical alignment member for generally aligning said microresonator and said electro-optic component; and  
a controllably adjustable beam steering element disposed between said microresonator and said electro-optic component for precisely aligning the laser signals emitted by said microresonator with said electro-optic component following general alignment by said mechanical alignment member.

23. A microlaser assembly according to Claim 22 wherein said beam steering element comprises at least one wedge prism.

24. A microlaser assembly according to Claim 22 wherein said mechanical alignment member comprises a first mechanical alignment member for aligning said microresonator and said beam steering element and a second mechanical alignment member for aligning said beam steering element and said electro-optic component.

25. A microlaser assembly according to Claim 24 further comprising:  
a microresonator mount for supporting said microresonator;  
a component mount for supporting said electro-optic component;  
a housing for holding said beam steering element; and

wherein said first mechanical alignment member comprises at least one pin for engaging said microresonator mount and said housing in order to generally align said microresonator and said beam steering element, and wherein said second mechanical alignment member comprises at least one pin for engaging said component mount and said housing in order to generally align said electro-optic component and said beam steering element.

26. A microlaser assembly according to Claim 22 wherein said electro-optic component is selected from the group consisting of a nonlinear crystal, an amplifier, an oscillator and another active gain medium.

27. A microlaser assembly according to Claim 22 wherein passive Q-switch is immediately adjacent said active gain medium.

28. A microlaser assembly according to Claim 27 wherein said passive Q-switch is proximate the second end face of said microresonator.

### 3. Detailed Description of Invention

#### FIELD OF THE INVENTION

The present invention relates generally to microlaser assemblies and, more particularly, to microlaser assemblies having microresonators, one or more electro-optic components and a beam steering element for controllably aligning the laser signals emitted by the microresonator with the electro-optic components.

#### BACKGROUND OF THE INVENTION

Modern electro-optical applications are demanding relatively inexpensive, miniaturized lasers capable of producing a series of well-defined output pulses. As such, a variety of microlasers have been developed that include a microresonator and a pair of at least partially reflective mirrors disposed at opposite ends of the microresonator to define a resonant cavity therebetween. The microresonator of one advantageous microlaser includes an active gain medium and a saturable absorber that serves as a Q-switch. See, for example, U.S. Patent No. 5,394,413 to John J. Zayhowski which issued on February 28, 1995 and U.S. Patent No. 6,072,815 to Brian L. Peterson which issued on June 6, 2000, the contents of both of which are incorporated in their entirety herein. By appropriately pumping the active gain medium, such as with a laser diode, the microresonator will emit a series of pulses having a predetermined wavelength, pulse width and pulse energy.

As known to those skilled in the art, the wavelength of the signals emitted by a microlaser is dependent upon the materials from which the active gain medium and the saturable absorber are formed. In contrast, the pulse width of the laser pulses emitted by a conventional microlaser is proportional to the length of the resonator cavity. As such, longer resonator cavities will generally emit output pulses having greater pulse widths as defined by the following equation:

$$t_{pw} = \frac{2nl}{c}$$

in which  $t_{pw}$  is the pulse width,  $l$  is the length of the resonator cavity,  $n$  is the refractive index of the microlaser and  $c$  is the speed of light. Further, both the pulse energy and average power provided by a microlaser are proportional to the pulse width of the pulses output by the microlaser. All other factors being equal, the longer the microresonator cavity, the longer the pulse width and the greater the pulse energy and average power of the resulting laser pulses as a result of the increased gain.

Conventional microlasers, such as those described by U.S. Patent No. 5,394,413, are end pumped in a direction parallel to the longitudinal axis defined by the resonator cavity. In this regard, the longitudinal axis of the microresonator cavity extends lengthwise through the resonator cavity and is oriented so as to be orthogonal to the pair of at least partially reflective mirrors that define the opposed ends of the resonant cavity. As such, conventional microlasers are configured such that the pump source provides pump signals in a direction perpendicular to the at least partially reflective mirrors that define the opposed ends of the resonant cavity. The effective length of the resonator cavity is therefore equal to the physical length of the resonator cavity.

While a microlaser can be fabricated such that the resonator cavity has different lengths, a number of factors contribute to generally limit the permissible length of the resonator cavity. In particular, a number of electro-optical applications require microlasers that are extremely small. As such, increases in the length of the resonator cavity are strongly discouraged in these applications since any such increases in the length of the microresonator cavity would correspondingly increase the overall size of the microlaser. In addition, the length of passively Q-switched microlasers is effectively limited by the requirement that the inversion density must exceed a predetermined threshold before lasing commences. As the physical length of the resonator cavity increases, greater amounts of pump energy are required in order to create the necessary inversion



density for lasing. In addition to disadvantageously consuming more power to pump the microlaser, the increased pumping requirements create a number of other problems, such as the creation of substantially more heat within the microlaser which must be properly disposed of in order to permit continued operation of the microlaser.

As such, side-pumped microlasers have been developed as described by U.S. Patent Application No. 09/337,432, filed June 21, 1999, by Brian L. Peterson, et al. and U.S. Patent Application No. 09/337,716 filed June 21, 1999, by Steve Guch, Jr., et al., the contents of both of which are incorporated in their entireties herein. Like an end-pumped microlaser, a side-pumped microlaser includes a microresonator consisting of an active gain medium and a saturable absorber that serves as a Q-switch, and a pair of at least partially reflective mirrors disposed at opposite ends of the microresonator to define a resonant cavity. Unlike an end-pumped microlaser in which the opposed end faces of the microresonator are perpendicular to the longitudinal axis defined by the microresonator, however, the opposed end faces of the microresonator of a side-pumped microlaser are disposed at a non-orthogonal angle, such as between about 30° and about 35°, relative to a line perpendicular to the longitudinal axis defined lengthwise through the microresonator. As such, the microresonator will support a zig-zag resonance pattern. In order to initiate the resonance, the microlaser also includes a pump source for introducing pump signals into the active gain medium via a side surface of the microresonator. In response to the pumping of the active gain medium via the side surface, the zig-zag resonance pattern is established within the resonant cavity and a series of pulses are emitted once the necessary inversion density has been reached. As a result of the zig-zag resonance pattern, the effective length of the microresonator of a side-pumped microlaser is increased without having to increase the physical dimensions. Thus, a side-pumped microlaser can generate pulses having greater pulse widths and correspondingly greater pulse energies and average power levels than the pulses provided by end-pumped microlasers of a similar size.

Notwithstanding the advantages offered by side-pumped microlasers, some modern electro-optical applications require pulses that have greater pulse energies

and greater average power levels as well as pulses that have different wavelengths than that emitted by a microresonator. As such, microlaser assemblies generally include a microresonator and one or more electro-optic components for receiving the pulses and for modifying the pulses. For example, the electro-optic components can include an optical parametric amplifier for amplifying the pulses. Alternatively, the electro-optic components can include one or more non-linear crystals for altering the wavelength of the pulses, such as by doubling or quadrupling the frequency of the pulses.

In order to appropriately receive and modify the pulses emitted by the microlaser, the electro-optic components must be precisely aligned with the microlaser. As the microlaser and the associated electro-optic components become smaller, this alignment becomes even more necessary, but also more difficult. Moreover, as the requirements for microlaser assemblies increase, the proper alignment of the microlaser and the associated electro-optic components becomes even more critical. Thus, a need exists for microlaser assemblies having microresonators and associated electro-optic components that can be reliably aligned in a precise manner in order to provide the output required by modern electro-optical applications.

#### SUMMARY OF THE INVENTION

A microlaser assembly is therefore provided that includes a microresonator having an active gain medium and a passive Q-switch, a pump source for inducing resonance of the microresonator and the generation of laser signals, one or more electro-optic components, such as one or more non-linear crystals, amplifiers, oscillators or other active gain mediums, for modifying the laser signals emitted by the microlaser and a beam steering element for aligning the laser signals emitted by the microresonator with the electro-optic components. In one advantageous embodiment, the pump source pumps the active gain medium via a first side surface of the microresonator. In order to support a zig-zag resonance pattern in response to the side pumping, the first and second end faces of the microresonator are typically disposed at a nonorthogonal angle relative to the longitudinal axis defined by the microresonator. As a result of the zig-zag resonance pattern, the

microresonator can generate pulses having greater pulse widths and correspondingly greater pulse energies and average power levels than the pulses produced by conventional microresonators of a similar size. In addition, by precisely aligning the laser signals emitted by the microresonator with the electro-optic components, the beam steering element of the microlaser assembly of the present invention facilitates the reliable and efficient operation of the microlaser assembly and supports multiple downstream electro-optic stages for amplifying the laser signals and/or altering the wavelength of the laser signals depending upon the requirements of a particular application.

Preferably, the beam steering element is controllably adjustable so as to precisely align the laser signals emitted by the microresonator with an electro-optic component. For example, the beam steering element can include at least one wedge prism and, in one embodiment, includes a pair of steering Risley prisms. The beam steering element typically provides for the relatively precise alignment of the laser signals emitted by the microresonator with the electro-optic components. In order to provide more general alignment, the microlaser assembly can also include a mechanical alignment member.

In this advantageous embodiment, the microlaser assembly can include a first mechanical alignment member for aligning the microresonator and the beam steering element and a second mechanical alignment member for aligning the beam steering element and the electro-optic component. For example, the first and second mechanical alignment members can each include at least one pin for operably engaging the microresonator, the beam steering element and/or the electro-optic components. In this regard, the microlaser assembly can further include a microresonator mount for supporting the microresonator and a component mount for supporting the electro-optic component. In addition, the microlaser assembly of this embodiment can include a housing for holding the beam steering element. As such, the at least one pin of the first mechanical alignment member can engage the microresonator mount and the housing for generally aligning the microresonator and the beam steering element. Likewise, the at least one pin of the second mechanical alignment member can engage the component mount and the housing for generally aligning the electro-optic

component and the beam steering element. As such, the mechanical alignment members can provide general alignment of the microresonator with the electro-optic components, while the controllably adjustable beam steering element provides more precise alignment or fine tuning.

In one advantageous embodiment in which the microresonator is side-pumped, the microresonator also has a second side surface extending between the opposed end faces and opposite the first side surface. As such, the zig-zag resonance pattern includes a number of segments of alternately opposite slope that intersect at respective inflection points proximate one of the first and second side surfaces. As such, the microlaser assembly can include first and second pump sources for introducing pump signals into the active gain medium at locations along the first and second side surfaces, respectively, that coincide with the inflection points. As such, the gain provided by the pump signals can be maximized.

The microlaser assembly of the present invention therefore provides for the alignment of the microresonator, such as a side-pumped microresonator, with one or more electro-optic components, such as one or more non-linear crystals, amplifiers and oscillators. In particular, the microlaser assembly of one embodiment provides for both the general alignment of the microresonator and the electro-optic component by means of one or more mechanical alignment members, as well as the more precise and controllably adjustable alignment of the microresonator and the electro-optic component by means of a beam steering element. Thus, the laser signals emitted by the microresonator can be efficiently coupled to the electro-optic components in order to provide the desired laser output.

## DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

The present invention now will be described more fully hereinafter with reference to the accompanying drawings, in which preferred embodiments of the invention are shown. This invention may, however, be embodied in many different forms and should not be construed as limited to the embodiments set forth herein; rather, these embodiments are provided so that this disclosure will be thorough and complete, and will fully convey the scope of the invention to those skilled in the art. Like numbers refer to like elements throughout.

Referring now to Figure 1, a microlaser assembly 10 according to one advantageous embodiment of the present invention is illustrated. As shown in more detail in Figures 2 and 3, the microlaser assembly includes a microresonator 11 having an active gain medium 12 and a Q-switch 14, such as a passive Q-switch, that is preferably immediately adjacent to the active gain medium. While the microresonator of one advantageous embodiment is fabricated by epitaxially growing the active gain medium upon the Q-switch, the microresonator can be fabricated in other manners. For example, the active gain medium and the Q-switch can be joined by a diffusion bond or by optical contact in which the active gain medium and the Q-switch are attracted with coherent forces, such as Van der Waals forces.

Both the Q-switch 14 and the active gain medium 12 are formed of an appropriately doped host material. Typically, the host material is yttrium aluminum garnet (YAG), although materials such as yttrium vanadate (YVO<sub>4</sub>) and yttrium lithium fluoride (YLF), can be employed. In addition, while a variety of dopants can be utilized, the active gain medium is typically doped with neodymium (Nd) and the saturable absorber is typically doped with tetravalent chrome. In one advantageous embodiment, for example, the active gain medium is formed of YAG that is doped with between about 2 and about 3 atomic percent of

Nd. In this embodiment, the Q-switch or saturable absorber is also formed of YAG and is doped with tetravalent chrome so as to have an optical density of 0.03 to 0.1. As will be apparent, however, the active gain medium and the saturable absorber can be doped with different atomic percentages and different types of dopant without departing from the spirit and scope of the present invention.

Regardless of the material selection, the saturable absorber serves as a Q-switch 14 to prevent the onset of lasing until the inversion density within the microresonator 11 is sufficiently high, i.e., above a predetermined threshold. Once lasing begins, however, the microresonator will produce a series of pulses of a predetermined wavelength, i.e., the lasing wavelength, that have a predetermined pulse width, albeit a longer pulse width than the laser pulses generated by conventional microlasers.

The microresonator 11 extends lengthwise between opposed end faces 16 to thereby define a longitudinal axis 18. As described in U.S. Patent Application No. 09/337,432, the active gain medium 12 is preferably proximate one of the opposed end faces and the Q-switch 14 is proximate the other end face. However, the active gain medium and the Q-switch can both extend lengthwise between the opposed end faces as described in U.S. Patent Application Serial No. 09/337,716, if so desired.

In order to support a zig-zag resonance pattern within the microresonator 11 so as to effectively lengthen the microresonator cavity, the opposed end faces 16 of the microresonator of one embodiment are each preferably disposed at a nonorthogonal angle  $\angle$  relative to the longitudinal axis 18 defined by the microresonator. While the opposed end faces can be disposed at a variety of nonorthogonal angles  $\angle$  relative to the longitudinal axis, the opposed end faces are typically disposed at an angle  $\angle$  that is between about 30° and about 45° relative to a line perpendicular to the longitudinal axis and, more commonly, at an angle of

about 30.9°. Typically, the angle  $\alpha$  is defined to be equal to  $\arcsin \frac{n_s}{n_r}$  wherein  $n_s$  is the index of refraction for the surrounding environment, such as 1.0 for air; and  $n_r$  is the index of refraction of the active gain medium 12.

Since the resonation pattern established by the microresonator 11 is created by the total internal reflection (TIR) of the signals which, in turn, is governed by the refractive indices of the respective materials, the relationship between the thickness  $T$  of the microresonator 11 as measured between the first and second opposed side surfaces 20, 22, the length  $L$  of the microresonator measured tip to tip, the angle  $\forall$  defined by the opposed end faces relative to the longitudinal axis 18 of the microresonator and the number  $N$  of reflections or bounces of the signals from the side surfaces of the microresonator prior to emission can be defined by the following equation:

$$L = \frac{NT}{\tan \alpha} + \frac{T}{\tan \alpha}$$

In addition, the length of each of the first and second sides of the microresonator, i.e., the base length, is defined to be equal to  $NT/\tan \alpha$ .

As shown in Figure 3, the opposed end faces 16 can each be disposed at the same nonorthogonal angle  $\forall$  relative to the longitudinal axis 18 defined by the microresonator 11 such that the opposed end faces are parallel. Alternatively, the opposed end faces can be oriented in opposite directions by the same nonorthogonal angle  $\forall$  relative to the longitudinal axis defined by the microresonator. In either embodiment, the resulting microresonator supports the zig-zag resonation pattern as shown.

By supporting a zig-zag resonation pattern within the microresonator 11, the effective length of the resonation pattern is significantly longer than the physical length of the microresonator as measured along the longitudinal axis 18. In this regard, the effective length of the resonation pattern is defined by the path of the signals as the signals alternately bounce from the opposed side surfaces 20, 22 of the microresonator. For a microlaser assembly 10 that is designed such that the signals reflect or bounce four times from the opposed side surfaces of the microresonator, i.e.,  $N=4$ , the effective length of the zig-zag resonation pattern is about three to four times longer than the physical length of the microresonator cavity as measured along the longitudinal axis. Since the length of the resonation pattern and the physical length of the resonator cavity are identical for



conventional end-pumped microlasers, the microlaser of this embodiment advantageously provides a much longer resonation pattern without requiring that physical dimensions of the microresonator be increased. As a result of the lengthened resonation pattern, the pulse width or pulse duration of the pulses output by the microresonator 11 is increased relative to the pulse width of the pulses output by conventional microlasers of the same size. For example, the pulses output by the microresonator of one embodiment are anticipated to have a pulse width of between 1 and 10 nanoseconds and, more typically, between about 2 and 5 nanoseconds, as compared to the pulses output by conventional end-pump microresonators of the same size which have subnanosecond pulse widths. In addition, the energy delivered by the pulses output by the microresonator assembly of this embodiment should be significantly greater than the energy delivered by the pulses output by conventional end-pumped microresonators of the same size. In this regard, pulses having an energy up to about 100  $\mu\text{J}$  are anticipated to be emitted by the microresonator of this embodiment in comparison to pulse energies of less than about 35  $\mu\text{J}$  that are provided by the pulses output by conventional end-pump microresonators of the same size. Correspondingly, the pulses emitted by the microresonator of this embodiment are anticipated to have much greater average powers, such as 0.1 watts to 1 watt, than the average power of conventional end-pumped microresonators that is typically less than 0.1 watts.

The microlaser assembly 10 also includes first and second reflective surfaces 24, 26 disposed proximate respective ones of the opposed end faces 16 to define a microresonator cavity therebetween. As shown in Figure 3, the first and second reflective surfaces can consist of a multi-layered dielectric coating that is deposited upon the opposed end faces. Alternatively, the first and second reflective surfaces can be formed by first and second dichroic mirrors that are positioned proximate, but slightly spaced from respective ones of the opposed end faces.

In either embodiment, the first reflective surface 24 proximate the end face 16 of the microresonator 11 defined by the active gain medium 12 has a high reflectivity, such as a reflectivity of greater than 99.5%, for signals having the

predetermined lasing wavelength, such as 1.064 nanometers for a microresonator having an active gain medium formed of Nd doped YAG. In addition, the second reflective surface 26 that is disposed proximate the end face of the microresonator defined by the passive Q-switch 14 is a partial reflector, typically having a reflectivity of between 40% and 90% for signals having the predetermined lasing wavelengths. See also U.S. Patent No. 5,394,413 which further describes a pair of mirrors that define the resonator cavity of a microlaser.

Once the active gain medium 12 is pumped such that the inversion density within the microresonator 11 is above the predetermined threshold, the passive Q-switch 14 will permit a series of pulses to be emitted. As a result of the partial reflectivity of the second reflective surface 26, the series of pulses will then be emitted through the second reflective surface.

In order to pump the active gain medium 12 with pump signals, the microlaser assembly 10 also includes a pump source 28. In one advantageous embodiment, the microresonator is side pumped. In this regard, the microresonator has a first side surface 20 extending between the opposed end faces 16. By positioning the pump source such that the pump signals are delivered via the first side surface of the microresonator, the active gain medium is effectively side pumped. While the microlaser can be pumped via a single side surface, the microlaser can, instead, be advantageously pumped via two or more side surfaces, such as the opposed first and second side surfaces 20, 22, as shown in Figure 3.

Although the wavelength of the pump signals can be tailored to the specific materials that comprise the active gain medium 12, an active gain medium that is comprised of Nd doped YAG is typically pumped with pump signals having a wavelength of 808 +/- 3 nanometers. In order to permit the pump signals to be received by the active gain medium without being reflected from the first side surface 20, the microresonator generally includes an antireflection coating 30 deposited upon the first and/or second side surface(s) to permit signals having the wavelength of the pump signals to enter the microresonator 11 with little, if any, reflection.

While the microlaser assembly 10 can include a variety of pump sources 28, the microlaser assembly of one advantageous embodiment utilizes one or more

linear laser diode pump arrays 29 that are preferably positioned along the length of the active gain medium 12 as described below. The linear laser diode pump arrays are typically driven by means of current provided by a pair of conductors that have not been depicted for the purposes of clarity, but that are well understood by those skilled in the art. By utilizing a laser diode pump array, the energy delivered via the pump signal is increased dramatically relative to the energy provided by the pump signals of a single stripe laser diode that is typically utilized to end pump conventional microlasers. For example, a linear laser diode array having a length of about 1 cm generally provides pump signals having an average pump power of 15-40 watts, as compared to the 1-3 watts of average pump power provided by the pump signals of a single stripe laser diode.

As a result of the side pumping and the angled configuration of the opposed end faces 16 of the microresonator 11, the resonation pattern established by the microresonator is not parallel to the longitudinal axis 18 as is customary for conventional end-pumped microlasers. Instead, the resonation pattern established by the microresonator of one advantageous embodiment is a zig-zag resonation pattern as shown in Figure 3. In order to support the zig-zag resonation pattern, the active gain medium 12 is preferably pumped via the first and second side surfaces 20, 22; both of which are coated with an antireflection coating 30 according to this embodiment as shown in Figure 3. In an alternative embodiment, however, the active gain medium is only pumped via the first side surface. In order to prevent the undesirable loss of pump signals in this alternative embodiment, the second side surface of the microresonator 11, opposite the first side surface through which the pump signals are received, is preferably coated with a reflectance coating that has a high reflectivity, such as a reflectivity of greater than 99.5%, for signals having the wavelength of the pump signals. While the reflectance and/or antireflection coatings deposited upon the first and second side surfaces can be formed in a variety of manners, the reflectance and/or antireflection coatings are typically formed by the deposition of a plurality of dielectric layers having respective indices of refraction that are tailored to provide the proper reflectivity properties as known to those skilled in the art.

Since the microresonator 11 is typically an elongate bar having a generally rectangular cross-section and angled end faces 16, the microresonator also typically includes third and fourth side surfaces 32 extending between the opposed end faces and between the first and second opposed side surfaces 20, 22. In Figure 3, for example, the third side surface is in view while the fourth side surface faces away from the viewer and is therefore unseen. In order to prevent much, if any, light from entering or departing from the microresonator via the third and fourth side surfaces, the third and fourth side surfaces are typically finely ground or otherwise roughened so as to diffuse light.

While the active gain medium 12 can be pumped along its entire length, the pump source 28 is preferably designed so as to pump the active gain medium at only a few locations along its length. In this regard, the zig-zag resonance pattern includes a plurality of segments of alternately opposite slope that intersect at respective inflection points 34 proximate the first and second side surfaces 20, 22. As shown in Figure 3, for example, the zig-zag resonance pattern of one embodiment has two inflection points proximate the first side surface and two inflection points proximate the second side surface. However, the zig-zag resonance pattern supported by the microresonator 11 can have a different number of inflection points, if so desired. In order to efficiently pump the active gain medium, the pump source is therefore preferably designed to have laser diode pump arrays proximate the first side surface and/or the second side surface at locations coincident with the respective inflection points of the zig-zag resonance pattern. In this regard, the pump source can include a first plurality of linear laser diode pump arrays, each of which is located adjacent the first side surface proximate a respective inflection point. In addition, in the embodiment in which the microresonator is side pumped from both the first and second side surfaces, the pump source also preferably includes a second plurality of linear laser diode pump arrays, one of which is adjacent each inflection point proximate the second side surface. As depicted in Figures 2 and 3, for example, each pump source can include two or more linear laser diode pump arrays positioned at a respective inflection point and separated by a block 31 of oxygen free high conductivity copper or a block of a thermally conductive, electrically insulating material, such

as beryllium oxide (BeO) or aluminum nitride (AlN). As shown in Figure 2, each linear laser diode pump array also preferably extends laterally alongside the microresonator between the third and fourth side surfaces 32.

In addition to the microresonator 11, the microlaser assembly 10 of the present invention includes one or more electro-optic components 36 positioned downstream of the microresonator in an aligned relationship thereto. As shown in the Figure 1, the microresonator and the other electro-optic components can be mounted upon a common heat sink 38. Alternatively, the microresonator and the other electro-optic components can be mounted upon different heat sinks or a segmented heat sink if it is desired to maintain the microresonator and the other electro-optic components at different or otherwise independent temperatures. According to one embodiment, the heat sink is an oxygen free high conductivity copper heat sink. However, the heat sink can be any of a variety of active or passive heat sinks including thermoelectric coolers and the like.

In order to appropriately mount the microresonator 11 and the downstream electro-optic components 36 to the underlying heat sink 38, the microlaser assembly 10 also preferably includes a microresonator mount 40 for supporting the microresonator and one or more component mounts 42 for supporting respective electro-optic components. With respect to these mounts, the microlaser assembly can include a variety of different mounts so long as the mounts provide for the conduction of thermal energy from the microresonator or the electro-optic component to the underlying heat sink while maintaining the microresonator or the electro-optic component in a precise predefined position relative to the other components.

According to one embodiment depicted in Figure 2, the microresonator mount 40 includes bridge portions 44 attached to opposite side surfaces of the microresonator 11. In this regard, the bridge portions are attached to those side surfaces, such as the third and fourth side surfaces 32, that do not receive pump signals during operation of the microresonator. While the bridge portions can be attached to opposed side surfaces of the microresonator in a variety of manners, the bridge portions of one embodiment are soldered, such as by means of an indium solder, to the third and fourth side surfaces of the microresonator. According to

the illustrated embodiment, the microresonator mount also includes a pair of upstanding portions 46 that extend upwardly from the underlying heat sink 38. As also shown in Figure 2, the microresonator mount can include a pair of connectors 48 for connecting the upstanding portions and the bridge portions so that the microresonator is disposed between the upstanding portions. Alternatively, the upstanding portions and the bridge portions of the microresonator mount can be connected by means of a solder, an epoxy or the like in order to eliminate the connectors.

In order to pump the microresonator 11, the pump sources 28 are preferably mounted upon the upstanding portions 46 in alignment with the first and second opposed side surfaces 20, 22 of the microresonator. In this regard, the pump source mounted to each upstanding portion can include a plurality of linear laser diode arrays spaced along the length of the microresonator at locations that coincide with the inflection points 34 of the zig-zag resonance path that are proximate the reflective side surface. The pump sources can be mounted to the upstanding portions in a variety of manners. In one embodiment, for example, the pump sources are mounted to the respective upstanding portions by means of indium solder or a thermally conductive epoxy.

The microresonator mount 40 can be comprised of a variety of thermally conductive materials. For example, the microresonator mount of one embodiment is comprised of oxygen free high conductivity copper in order to facilitate the transmission of thermal energy to the heat sink 38 for disposal. In this regard, the upstanding portions are preferably attached to the underlying heat sink by means of a thermally matched epoxy or the like, such as an aluminum oxide filled or a silver filled epoxy. Although one embodiment of a microresonator mount is illustrated and described above, the microresonator mount can have many other designs depending upon the particular application. For example, the upstanding portions of the microresonator mount can be a single U-shaped structure. In addition, the microresonator and the pump sources can be mounted on a common slab-like mount as described in U.S. Patent No. 6,072,815, if desired.

As depicted in Figure 1, the microlaser assembly 10 has one or more electro-optic components 36 positioned downstream of the microresonator 11 for

receiving and/or modifying the laser signals emitted by the microresonator. The microlaser assembly can include different types of electro-optic components depending on the application and the manner in which the laser signals are to be modified. For example, the microlaser assembly can include a frequency doubling crystal, typically formed of  $\text{KTiOPO}_4$ , i.e., KTP. By way of example, in the embodiment in which a microresonator having an active gain medium 12 formed of neodymium-doped YAG and a saturable absorber 14 formed of tetravalent chrome-doped YAG emits laser pulses having a wavelength of 1.064 nanometers, the KTP crystal will double the frequency of the laser pulses such that the resulting laser pulses have a wavelength of 532 nanometers.

In addition, the microlaser assembly 10 can include a fourth harmonic generator, typically formed of barium borate (BBO), disposed downstream of the frequency doubling crystal in order to generate a fourth order output. Accordingly, a microlaser assembly that includes a microresonator 11 having an active gain medium 12 formed of neodymium-doped YAG and a saturable absorber 14 formed of tetravalent chrome-doped YAG that emits laser pulses having a wavelength of 1.064 nanometers may include both a frequency doubling crystal and a fourth harmonic generator in order to produce laser pulses having a wavelength of 266 nanometers. Moreover, the microlaser assembly can include other types of nonlinear crystals or harmonic crystals, such as lithium triborate (LBO) that can serve as a second or third harmonic generator depending upon its design. Other nonlinear crystals include, but are not limited to potassium dihydrogen phosphate (KDP), lithium niobate ( $\text{LiNbO}_3$ ), cesium triborate (CBO) and cesium lithium triborate (CLBO).

In addition to or instead of nonlinear crystals for altering the frequency of the pulses provided by the microresonator 11, the microlaser assembly 10 can include an optical parametric amplifier and/or an optical parametric oscillator for emitting signals having a somewhat different wavelength in response to the pulses emitted by the microresonator. For example, an optical parametric amplifier or an optical parametric oscillator can emit signals having a wavelength between 1.5 and 4.5  $\mu\text{m}$  in response to pulses emitted by the microresonator that have a wavelength



of 1.064  $\mu\text{m}$ . Moreover, the microlaser assembly can include another active gain medium downstream of the microresonator such that the pulses emitted by the microresonator serve to pump the other active gain medium. For example, pulses having wavelength of 1.064  $\mu\text{m}$  that are emitted by the microresonator can pump another active gain medium comprised of tetravalent chromium doped YAG which, in turn, will emit pulses having a wavelength between 1.3  $\mu\text{m}$  and 1.6  $\mu\text{m}$ . As will be apparent, the laser signals emitted by the microlaser assembly of the present invention can therefore be tailored for many specific applications since the frequency and the average power level of the pulses can be modified by introducing appropriate electro-optic components 36 downstream of the microresonator. As shown in Figure 1, for example, the electro-optic component that is immediately downstream of the microresonator can be an optical parametric amplifier, while the other electro-optic component can be a non-linear crystal for altering the frequency of the laser signals.

Like the microresonator mount 40, the microlaser assembly 10 also preferably includes one or more component mounts 42 for holding the respective electro-optic components 36. As described in conjunction with the microresonator mount, each component mount is designed to hold the respective electro-optic component in a precise, predetermined position relative to the microresonator 11 and the other electro-optic components. In addition, the component mount is preferably fabricated from a material, such as oxygen free high conductivity copper, for facilitating the transmission of thermal energy from the respective electro-optic component to the heat sink 38 for disposal. As will be apparent, the actual configuration of the component mount will be dependent upon the nature of the respective electro-optic component, but the component mounts of one embodiment are the same or similar to the microresonator mount 40, as shown in Figure 1. As will also be apparent to those skilled in the art, each component mount is preferably attached to the underlying heat sink by means of thermally matched epoxy or the like, such as an aluminum oxide filled or a silver filled epoxy, to further facilitate transfer of thermal energy from the electro-optic component through the component mount to the underlying heat sink.

According to the present invention, the microresonator 11 and the electro-optic components 36 are preferably aligned in a precise manner in order to facilitate the transmission of laser signals, such as pulses, therebetween with minimal loss or attenuation. As such, the microlaser assembly 10 of the present invention also includes a beam steering element 50 disposed between the microresonator and the electro-optic component that is disposed immediately downstream of the microresonator. As described below, the beam steering element aligns the laser signals emitted by the microresonator with the electro-optic component that is immediately downstream thereof. In embodiments that include a series of two or more electro-optic components downstream of the microresonator, the microlaser assembly can include additional beam steering elements disposed between each pair of the electro-optic components in the series.

Each beam steering element 50 is preferably controllably adjustable in order to provide controlled alignment of the laser signals during the initial configuration of the microlaser assembly 10 as well as during any subsequent realignment of the microlaser assembly. In this regard, the beam steering element is typically capable of providing for the controlled adjustment of the direction of the laser signals within a predefined range, such as within an adjustment window of 1°. Accordingly, the beam steering element provides for relatively fine or precise control of the alignment of the laser signals.

In one advantageous embodiment, the beam steering element 50 comprises at least one and, more typically, a pair of complementary wedge prisms. While the wedge prisms may be formed of various materials, the prisms are commonly formed of quartz or BK-7 glass. For example, the beam steering element can include a pair of steering Risley prisms 52 mounted in respective ring-like mounts 53 that are generally formed of invar, aluminum or the like. As depicted in Figure 4, the pair of steering Risley prisms are typically disposed within a housing 54 that permits each Risley prism to be independently rotated about the optical axis 55 in order to controllably steer the laser signals. According to one embodiment, for example, the housing defines a pair of slots 56, one of which is associated with each Risley prism, such that each Risley prism can be accessed and rotated about the optical axis in order to adjust the alignment provided by the beam steering

element. Once the laser signals have been appropriately aligned such as by detecting that the output of the microlaser assembly 10 has been maximized, the position of the Risley prisms can be fixed. In this regard, the housing can be partially split by another slot 57 that extends from an interior portion of the housing in which the steering Risley prisms are disposed to one side of the housing. As depicted in Figure 1, the beam steering element of this embodiment can include a locking screw 58 or the like that extends across the slot 57 and can be advanced once the Risley prisms are in the desired positions in order to at least partially close the slot 57 and fix the position of the Risley prisms. As will be apparent, however, the beam steering element can include other means for fixing the position of the Risley prisms once the laser signals are appropriately aligned. If the microlaser assembly must ever be realigned, the locking screw of this embodiment can be loosened in order to permit the Risley prisms to again be rotated relative to the optical axis in order to alter the alignment of the laser signals. As shown in Figure 4, the housing of the beam steering element can also include a pair of windows 59 proximate respective ones of the Risley prisms for permitting the laser signals to enter and exit the housing. While the housing can include various types of windows, the windows of one embodiment are comprised of sapphire and are coated with an antireflection coating that prevents little, if any, of the laser signals from being reflected.

As described above, the beam steering element 50 generally provides for the relatively precise or fine control of the alignment of the laser signals. However, the microlaser assembly 10 can also include one or more mechanical alignment members 60 for providing general alignment of the microresonator 11 and the electro-optic components 36. In this regard, the mechanical alignment members can include a separate mechanical alignment member for aligning each pair of components in the series of electro-optic components. By way of example, the microlaser assembly can include a first mechanical alignment member for aligning the microresonator and the beam steering element and a second mechanical alignment member for aligning the beam steering element and the electro-optic component that is immediately downstream. Likewise, the microlaser assembly can include other mechanical alignment members for aligning the other

electro-optic components in the series with either another beam steering element or another electro-optic component.

While the microlaser assembly 10 can include various types of mechanical alignment members 60, the mechanical alignment members of one embodiment include pins. In this embodiment, each pair of components can be mechanically aligned with one or more pins. In the illustrated embodiment, for example, each pair of components is aligned by a pair of pins. In this regard, the first mechanical alignment member includes a pair of pins for aligning the microresonator 11 and the beam steering element 50. Likewise, the second mechanical alignment member includes a pair of pins for aligning the beam steering element and the electro-optic component 36. While the pins can align the various components in different manners, the mounts 40, 42 and the housing 54 of the illustrated embodiment of the microlaser assembly define a plurality of openings 62 for receiving the end portions of respective ones of the pins. Since the openings defined by the mounts and the housings are disposed in general alignment, the microresonator, the beam steering elements and the electro-optic components carried by the mounts and the housing will be in general alignment once the pins have been inserted into the corresponding openings. As shown in Figure 2, for example, the bridge portions 44 of the microresonator mount can define a pair of openings for receiving the end portions of a pair of pins. As shown in Figure 4, the housing of the beam steering element can also define a complementary pair of openings for receiving the opposed end portions of the pair of pins.

According to the present invention, the microlaser assembly 10 is therefore mounted upon the heat sink 28 such that the microresonator 11, the beam steering element 50 and the electro-optic components 36 are in general alignment with one another due to the engagement of the respective components by the mechanical alignment members 60, i.e., the pins. Laser signals emitted by the microresonator can then be more precisely aligned with the downstream electro-optic components by controllably adjusting the beam steering elements, such as by rotating one or both steering Risley prisms 52 about the optical axis. Once the laser signals have been appropriately aligned, as may be determined by maximizing the resulting output provided by the microlaser assembly, the position of the steering Risley

prisms can be fixed, thereby enabling the microlaser assembly to operate in an efficient manner with a minimum of signal loss or attenuation due to misalignment.

Many modifications and other embodiments of the invention will come to mind to one skilled in the art to which this invention pertains having the benefit of the teachings presented in the foregoing descriptions and the associated drawings. Therefore, it is to be understood that the invention is not to be limited to the specific embodiments disclosed and that modifications and other embodiments are intended to be included within the scope of the appended claims. Although specific terms are employed herein, they are used in a generic and descriptive sense only and not for purposes of limitation.

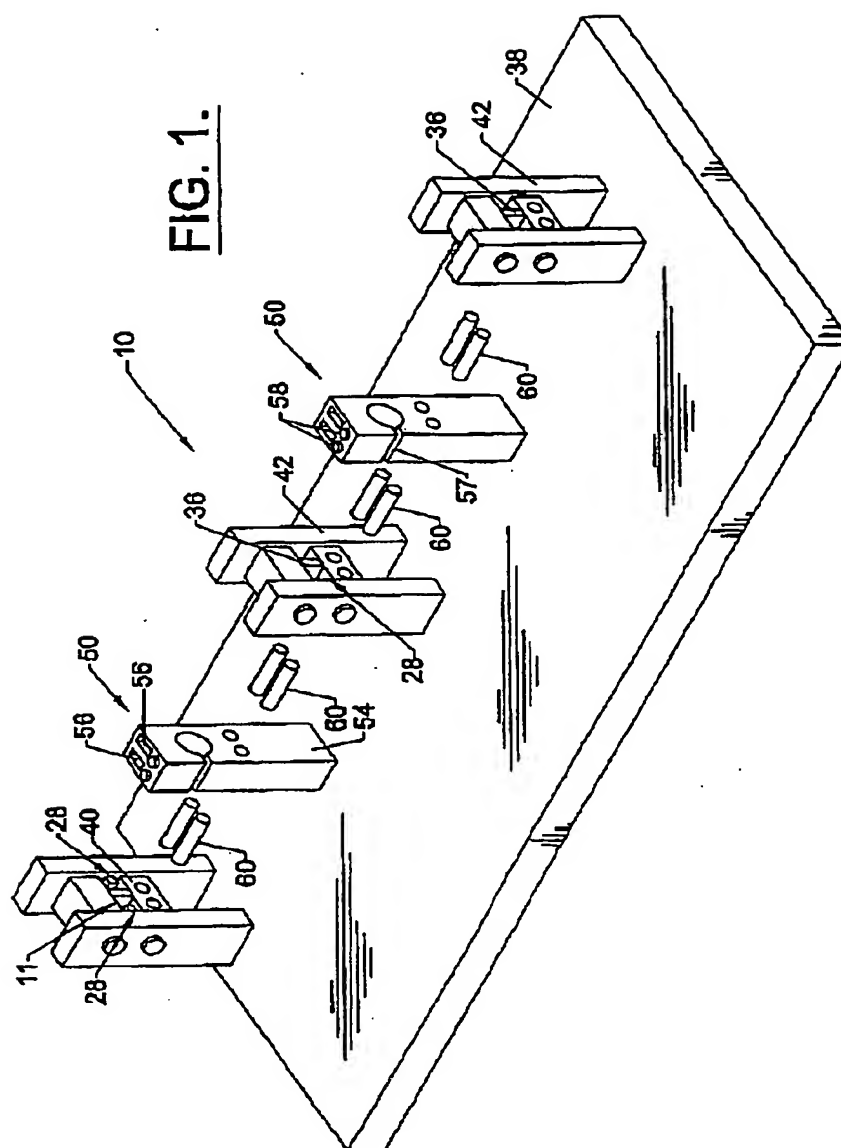
#### 4. Brief Description of Drawings

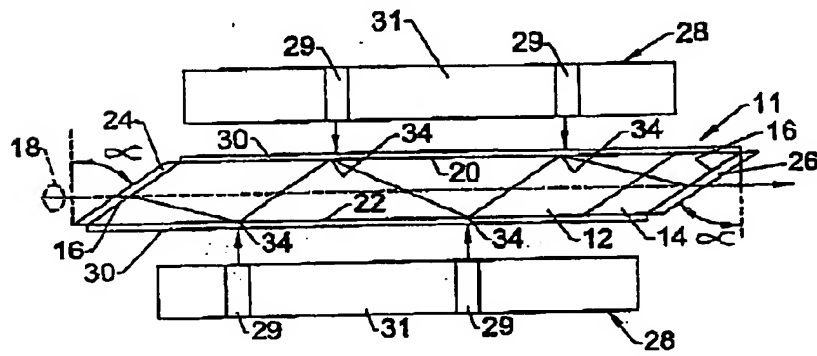
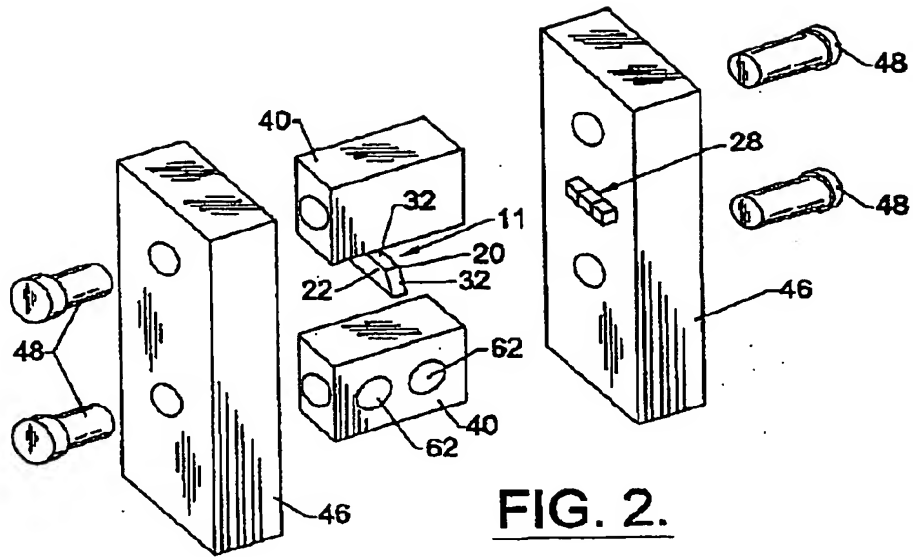
Figure 1 is a perspective view of a microlaser assembly according to one advantageous embodiment of the present invention.

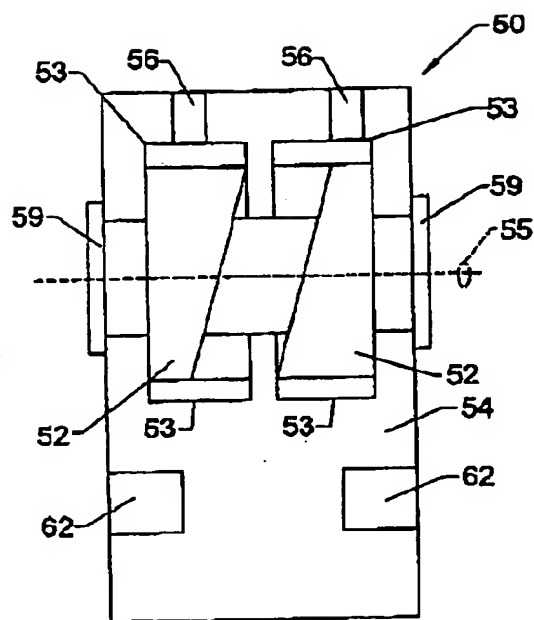
Figure 2 is an exploded perspective view of the microresonator mount and the microresonator of the microlaser assembly of Figure 1.

Figure 3 is a schematic side view of a microresonator with a pair of pump sources for producing a zig-zag resonance pattern therein.

Figure 4 is a cross-sectional side view of the beam steering element of the microlaser assembly of Figure 1.







**FIG. 4.**



【書類名】 外国語要約書

1. Abstract

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

A microlaser assembly is provided that includes a microresonator, such as a side pumped microresonator having an active gain medium and a passive Q-switch, a pump source for inducing resonance of the microresonator and the generation of laser signals, one or more electro-optic components, such as one or more non-linear crystals, amplifiers, oscillators or active gain mediums, for modifying the laser signals emitted by the microlaser and a beam steering element for aligning the laser signals emitted by the microresonator with the electro-optic components. The beam steering element is preferably controllably adjustable so as to precisely align the laser signals emitted by the microresonator with an electro-optic component. In order to provide more general alignment, the microlaser assembly can also include a mechanical alignment member. For example, the microlaser assembly can include a first mechanical alignment member for aligning the microresonator and the beam steering element and a second mechanical alignment member for aligning the beam steering element and the electro-optic component. In this regard, the first and second mechanical alignment members can each include at least one pin for operably engaging the microresonator, beam steering element and/or the electro-optic components. The laser signals emitted by the microresonator can therefore be efficiently coupled to the electro-optic components in order to provide the desired laser output.

2. Representative Drawing

Fig. 1